

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВПО «Удмуртский государственный университет»

УСТОЙЧИВОСТЬ ГРУНТОВЫХ МАССИВОВ

Учебно-методическое пособие

Ижевск 2012

УДК 504.6:61/69(075)

ББК 20.1я7

У813

Рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом УдГУ

Рецензент кандидат педагогических наук, доцент А.В. Попков

Составители: кандидат технических наук, доцент О. П. Дружакина,
ассистент кафедры ИЗОС К.В. Гаврилова

У 813 Устойчивость грунтовых массивов: учеб.метод. пособие / сост. О. П. Дружакина, К.В. Гаврилова. Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2012. 68 с.

В учебно-методическом пособии рассмотрены основные природоохранные методы, приемы и сооружения защиты грунтов от эрозионных и оползневых разрушений в природных и техногенных средах.

Пособие включает 6 практических работ, приложение с основными схемами разрушения грунтов и типами укрепительных конструкций и сооружений.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению 280100 «Природообустройство и водопользование», а также специалистов в области инженерной защиты окружающей среды и рационального природопользования.

УДК 504.6:61/69(075)

ББК 20.1я7

© ФГБОУ ВПО «УдГУ», 2012

© Сост. О.П. Дружакина, К.В. Гаврилова 2012

Оглавление

Предисловие	4
Введение	6
Практическая работа №1 Расчет устойчивости грунтовых массивов	7
Практическая работа №2 Оценка интенсивности плоскостного смыва (эрозия)	17
Практическая работа №3 Расчет дренажных систем для перехвата поверхностного стока на обводнённой территории	22
Практическая работа №4 Основы расчета и проектирования ливневой канализации с целью предотвращения образования поверхностного стока	26
Практическая работа №5. Укрепление откосов. Противоэрозионные мероприятия	34
Практическая работа №6. Основы расчетов инженерно-биологических сооружений	39
Список рекомендуемой литературы	48
Приложение	50
Приложение 1. Параметры устойчивости откоса	
Приложение 2. Элементы разрушения грунтов	
Приложение 3. Подпорные стенки и анкерное крепление	
Приложение 4. Противоэрозионная защита откосов	
Приложение 5 - 9. Укрепление откосов	
Приложение 10. Оползание грунтов на примере набережной Ижевского пруда	
Приложение 11. Список экзаменационных вопросов	

ПРЕДИСЛОВИЕ

Уважаемые магистранты и студенты бакалаврских программ в области природообустройства и инженерной защиты окружающей среды! Это пособие создано для вас в помощь изучения особенностей и принципов работы сооружений и конструкций, предназначенных для предупреждения разрушения грунтов, откосов и снижения аварийности объектов в подтопляемых районах.

Изменение ландшафтов и рельефов, создание антропогенных нагрузок на почвы (например, при создании водохранилищ, ж\д и автомобильных дорог, полигонов ТБО) может привести к снижению устойчивости грунтов и, как следствие этого, к оползням, обрушениям и иным перемещениям грунтов или отдельных их пластов. Включение работ по укреплению откосов является неотъемлемой частью проектов по их преобразованию, рациональному использованию (например, при использовании выработанных карьеров для полигонов ТБО или при создании рекреационных зон) и обеспечению экологической безопасности.

Актуальность разработки учебно-методического пособия по проектированию конструкций и сооружений укрепления откосов обосновывается активным и масштабным преобразованием почв при современных темпах развития строительных работ, с участвовавшими случаями оползней и обвалов грунтов в Удмуртии (как районе со значительными участками подтопления паводковыми водами). В ходе изучения вами дисциплин «Мелиорация и рекультивация нарушенных земель», «Устойчивость грунтовых массивов» и «Природоохранные сооружения», в соответствии с ФГОС-3 и учебным планом по подготовке бакалавров по направлению 280100 «Природообустройство и водопользование» рассматриваются виды и принципы работы сооружений, их конструкционные особенности, область применения, достоинства и недостатки, современные конструкторские решения по повышению эффективности их работы, что в дальнейшем поможет решать задачи разработки проектов природообустройства и рекультивации территорий.

Структура пособия. Учебной программой курсов «Мелиорация и рекультивация нарушенных земель», «Устойчивость грунтовых массивов» и «Природоохранные сооружения» предусмотрено проведение практических занятий по расчету параметров различных видов конструкций по повышению устойчивости грунтов. Пособие также может активно применяться при написании рефератов, контрольных и курсовых работ, выпускной квалификационной работы (ВКР) и магистерских диссертаций при разработке проектов рекультивации нарушенных земель, вертикальной планировке

городских и иных территорий, проектов благоустройства рекреационных зон. Каждая практическая работа содержит теоретическую, методическую и прикладную части, что позволяет комплексно изучить учащемуся тему, ознакомиться с методикой и порядком расчета конструкционных параметров с разъяснением формул и порядка расчета, характеристикой используемых коэффициентов. Для контроля знаний в работе предусмотрены контрольные вопросы по изучаемым темам (3 – 5 вопросов), а так же задания для самостоятельного выполнения учащимися (от 2 до 5 задач).

Особенностью данного пособия является сочетание богатого теоретического и графического материала с методиками проектирования основных конструкционных и технологических параметров конструкций и сооружений, а также справочно-нормативной информации и конструкций при укреплении откосов.

При подготовке пособия составителями использованы как учебно-методическая литература, вышедшая за последние годы, так и действующая нормативная база (СНиПы, ГОСТы, РД и др.), ресурсы сети Интернет, особенно электронных библиотек, использование которых Вами, надеемся, расширит уровень познаний, поможет в написании курсовых работ, в подготовке к практическим занятиям.

Преподаватели кафедры «Инженерная защита окружающей среды» желают вам успешного освоения компетенций и практических навыков в области природообустройства, творческих успехов и достижений в учебе!

ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие направлено на формирование у учащихся по направлению «Природообустройство и водопользование» таких компетенций, как:

ПК-1 способность определять исходные данные для проектирования объектов природообустройства и водопользования, руководить изысканиями по оценке состояния природных и природно-техногенных объектов;

ПК-4 способность использовать знания методов принятия решений при формировании структуры природно-техногенных комплексов, методов анализа эколого-экономической и технологической эффективности при проектировании и реализации проектов природообустройства и водопользования, проектов восстановления природного состояния водных и иных природных объектов;

ПК-13 способность проводить поиск, получение, обработку и анализ данных полевых и лабораторных исследований, обследований, экспертизы и мониторинга объектов природообустройства и водопользования.

При работе с пособием рекомендуется изучить теоретические материалы по теме и методику расчета параметров сооружений и затем приступить к выполнению самостоятельной работы. В приложении содержатся материалы, дополняющие теоретическую часть, а также справочные данные по конструкциям и сооружениям.

Представленные в Приложении схемы конструкций и сооружений могут использоваться на лекционных занятиях, что обеспечит наглядность изучаемого материала и высокое качество его усвоения. Схемы представлены в порядке изучения согласно рабочим программам курсов «Мелиорация и рекультивация нарушенных земель», «Устойчивость грунтовых массивов» и «Природоохранные сооружения».

Данное пособие рекомендуется для выполнения практических работ, курсовых работ / проектов, магистерских диссертаций, целью которых является проектирование систем и конструкций рекультивации нарушенных земель, перепланировка территорий с вертикальным зонированием, а также при разработке проектов укрепления откосов с позиции предупреждения оползней и обвалов.

Практическая работа №1

Расчет устойчивости грунтовых массивов

1. Теоретическая часть

Угол естественного откоса — угол, образованный свободной поверхностью рыхлой горной массы или иного сыпучего материала с горизонтальной плоскостью. Иногда может быть использован термин «угол внутреннего трения».

По углам естественного откоса определяются максимально допустимые углы откосов уступов и бортов карьеров, насыпей, отвалов и штабелей.

Откосом называется искусственно созданная поверхность, ограничивающая природный грунтовый массив, выемку или насыпь. Откосы образуются при возведении различного рода насыпей (дорожное полотно, дамбы, земляные плотины и т.д.), выемок (котлованы, траншеи, каналы, карьеры и т.п.) или при перепрофилировании территорий.

Склоном называется откос, образованный природным путем и ограничивающий массив грунта естественного сложения.

При неблагоприятном сочетании разнообразных факторов массив грунтов, ограниченный откосом или склоном, может перейти в неравновесное состояние и потерять устойчивость.

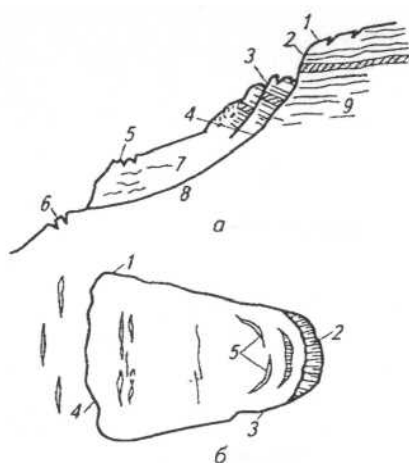


Рис. 1 Схема оползня:

а – профиль: 1 – бровка срыва, 2 – стенка срыва, 3 – оползневые ступени, 4 – зеркало оползня, 5 – трещина выпучивания, 6 – деформации основания оползня, 7 – тело оползня, 8 – ложе оползня, 9 – коренной массив; б – план: 1 – правый борт оползня, 2 – верхняя граница оползня, 3 – левый борт оползня, 4 – нижняя граница оползня, 5 – трещины скольжения

Основными причинами потери устойчивости откосов и склонов являются:

устройство недопустимо крутого откоса или подрезка склона, находящегося в состоянии, близком к предельному;

увеличение внешней нагрузки (возведение сооружений, складирование материалов на откосе или вблизи его бровки);

изменение внутренних сил (увеличение удельного веса грунта при возрастании его влажности или, напротив, влияние взвешивающего давления воды на грунты);

неправильное назначение расчетных характеристик прочности грунта или снижение его сопротивления сдвигу за счет, например повышения влажности;

проявление гидродинамического давления, сейсмических сил, различного рода динамических воздействий (движение транспорта, забивка свай и. т.п.).

Таблица 1 – Виды деформации грунтов

Вид деформации		Характер деформации	Причины
Размывы		Эрозия поверхности откосов насыпей и выемок	Движение воды
Осадки, заколы		Трещины в прибровочных и откосных частях	Недоуплотнение откосной части
Осыпи		Накопление продуктов выветривания	Циклическое увлажнение-высушивание
Сплывы		Смещение увлажненных продуктов выветривания	То же
Вывалы		Выпадение отдельных обломков	Технология разработки выемок

Методы расчета устойчивости откосов

Основными элементами открытой разработки карьера, котлована или траншей без крепления откосов является высота H и ширина l уступа, его форма, крутизна и угол естественного откоса α (рис.2). Обрушение уступа происходит чаще всего по линии BC , расположенной под углом θ к горизонту. Объем ABC называется призмой обрушения. Призма обрушения удерживается в равновесии силами трения, приложенными в плоскости сдвига.

Нарушение устойчивости земляных масс часто сопровождается значительными разрушениями мостов, дорог, каналов, зданий и сооружений, расположенных на оползающих массивах. В результате нарушения прочности (устойчивости природного склона или искусственного откоса) формируются характерные элементы оползня (рис. 3).

Устойчивость откосов анализируется с помощью теории предельного равновесия или путем рассмотрения призмы обрушения или сползания по потенциальной поверхности скольжения как твердого тела.

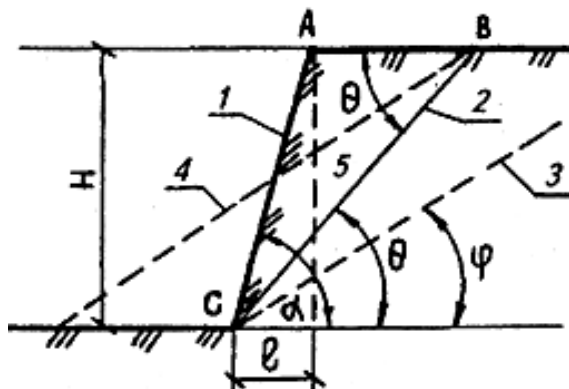


Рис. 2 Схема откоса грунта:

- 1 — откос; 2 — линия скольжения;
3 — линия, соответствующая углу внутреннего трения; 4 — возможное очертание откоса при обрушении; 5 — призма обрушения массива грунта

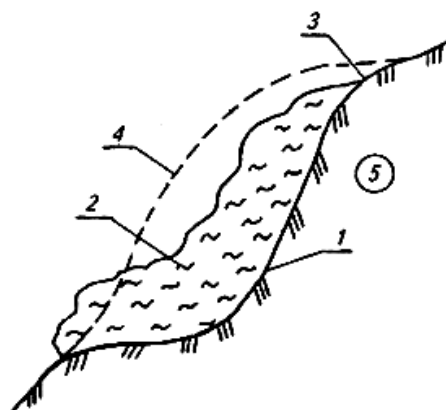


Рис. 3. Элементы оползня:

- 1 - поверхность скольжения;
2 - тело оползня; 3 - стенка срыва;
4 - положение склона до оползневого смещения;
5 — коренные породы склона.

Устойчивость откоса в основном зависит от его высоты и вида грунта. Для установления некоторых понятий рассмотрим две элементарные задачи:

- устойчивость откоса идеально сыпучего грунта;
- устойчивость откоса идеально связного массива грунта.

Устойчивость откоса идеально сыпучего грунта. Рассмотрим в первом случае устойчивость частиц идеально сыпучего грунта, слагающего откос. Для этого составим уравнение равновесия твердой частицы М, которая лежит на поверхности откоса (рис. 4а). Разложим вес этой частицы F на две составляющие: нормальную N к поверхности откоса АВ и касательную Т к ней. При этом сила Т стремится сдвинуть частицу М к подножию откоса, но ей будет препятствовать противодействующая сила Т', которая пропорциональна нормальному давлению.

$$\text{Тогда,} \quad N = F \cdot \cos \alpha; \quad T = F \cdot \sin \alpha \quad (1)$$

$$T' = f \cdot N = f \cdot \cos \alpha = F \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (2)$$

где f — коэффициент трения частицы грунта по грунту, равный тангенсу угла внутреннего трения.

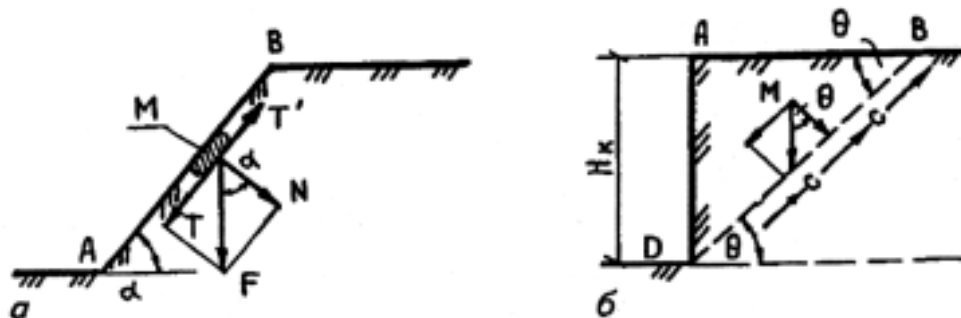


Рис. 4. Схема сил, действующих на частицу откоса: а — сыпучий грунт;

б — связный грунт

Составим уравнение проекции всех сил на наклонную грань откоса в условиях предельного равновесия:

$$F \cdot \sin \alpha - F \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha = 0 \quad (3)$$

Отсюда получим, что в этих условиях $\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \varphi$, окончательно $\alpha = \varphi$.

Таким образом, предельный угол откоса сыпучего грунта равен углу внутреннего трения. Этот угол носит название угол естественного откоса.

Устойчивость откоса идеально связного массива грунта. Рассмотрим устойчивость откоса AD высотой H_k для связного грунта (рис. 4, б). Нарушение равновесия при некоторой предельной высоте произойдет по плоской поверхности скольжения BD, наклоненной под углом θ к горизонту, так как наименьшей площадью такой поверхности между точками В и D будет обладать плоскость BD. По всей этой плоскости будут действовать силы удельного сцепления С.

Составим уравнение равновесия всех сил, действующих на оползневую призму ABD. Принимая во внимание, что, согласно рис. 4б, сторона призмы обрушения $AB = H_k \operatorname{ctg} \theta$, получим

$$F = \frac{\operatorname{ctg} \theta \cdot \gamma \cdot H_k^2}{2}, \quad (4)$$

где γ — удельный вес грунта.

Силами, сопротивляющимися скольжению, будут лишь силы удельного сцепления, которые распределяются по плоскости скольжения.

$$BD = \frac{H_k}{\sin \theta}$$

В верхней точке В призмы ABD давление будет равно нулю, а в нижней точке Д максимальное, тогда посередине — половине удельного сцепления.

Составим уравнение проекции всех сил на плоскость скольжения и приравняем ее к нулю:

$$\frac{\gamma}{2} H_k^2 \cdot \operatorname{ctg} \theta \cdot \sin \theta - \frac{c H_k^2}{2} \sin \theta = 0 \quad (5)$$

$$c = \frac{\gamma H_k}{2} \sin 2\theta \quad (6)$$

Полагая, $\sin 2\theta = 1$ при $\theta = 45^\circ$, получим

$$H_k = \frac{2c}{\gamma} \quad (7)$$

Из выражения (7) видно, что при высоте котлована (откоса) $H_k > 2c/\gamma$ произойдет обрушение массива грунта по некоторой плоскости скольжения под углом к горизонту.

Метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения. Реальные грунты, как правило, обладают не только сцеплением, но и трением. В связи с этим проблема устойчивости откосов становится значительно сложнее, чем в рассмотренных случаях. Поэтому на практике для решения задач в строгой постановке, большое распространение получил метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения.

Теория предельного равновесия грунтов, развитая В.В. Соколовским, позволяет решать задачи двух типов:

- задан угол наклона плоского откоса, определяется интенсивность внешней нагрузки на верхней горизонтальной поверхности грунта, ограниченного откосом массива;
- задана интенсивность нагрузки на верхней горизонтальной поверхности грунта, ограниченного откосом массива, определяется форма равноустойчивого откоса, находящегося в предельном напряженном состоянии.

Задача первого типа, при однородных грунтах и плоском откосе (рис. 5) решена В.В. Соколовским в безразмерных величинах q (табл.2).

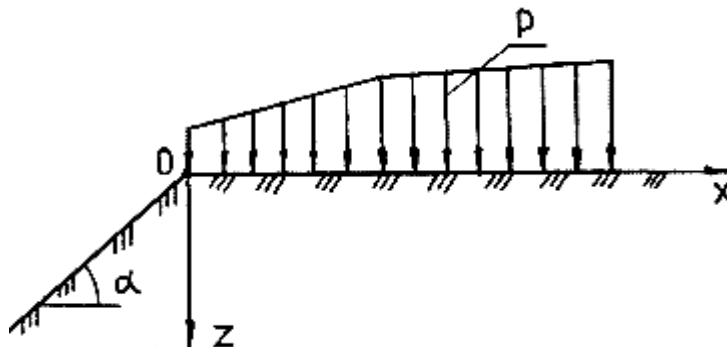


Рис. 5. Схема к расчету устойчивости плоского откоса по теории предельного равновесия

Таблица 2 – Значения безразмерного коэффициента q

X	При φ, град.											
	10		20		30				40			
	При α, град.											
	0	10	0	10	20	10	20	30	10	20	30	40
0	8,3	7,5	14,8	12,7	10,9	24,3	19,6	15,7	55,9	41,4	30,6	22,5
1	9,6	8,2	20,6	16,6	13,1	39,8	28,8	20,3	126,0	81,1	50,9	31,0
2	10,8	8,9	25,4	19,9	15,0	52,9	36,7	24,2	186,0	115,0	68,4	38,1
3	11,8	9,6	29,8	23,0	16,7	65,1	44,1	27,8	243,0	148,0	84,9	44,4
4	12,8	10,2	34,0	25,8	18,3	76,8	51,2	31,1	299,0	179,0	101,0	50,4
5	13,7	10,8	38,0	28,7	19,9	88,3	58,1	34,3	354,0	211,0	117,0	56,2
6	14,5	11,3	41,8	31,4	21,4	99,6	65,0	37,4	409,0	241,0	132,0	61,7

Исходными уравнениями для решения этой задачи являются:

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} = z ; \quad (8)$$

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} = x ; \quad (9)$$

$$(\sigma_z - \sigma_x)^2 + 4\tau_{xz}^2 = (\sigma_z + \sigma_x + 2c \operatorname{ctg} \varphi)^2 \sin^2 \varphi \quad (10)$$

Выражения (8) и (9), как было сказано, представляют дифференциальные уравнения равновесия, а (10) — условие предельного равновесия.

Предельная нагрузка на верхней горизонтальной поверхности откоса, зная q, определяется из выражения

$$P_u = \bar{q}c + c \operatorname{ctg} \varphi , \quad (11)$$

где q — безразмерный коэффициент, зависящий от углов внутреннего трения φ, угла α и расстояния x от края откоса до рассматриваемой точки (табл.1). Задача второго типа для случаев, когда на верхней горизонтальной поверхности откоса распределена равномерная нагрузка (по В.В. Соколовскому):

$$P_0 = \frac{2c \cdot \cos \varphi}{1 - \sin \varphi} \quad (12)$$

и надо найти равноустойчивый откос.

Для случаев, когда c ≠ 0 и φ ≠ 0, с помощью численного интегрирования дифференциальных уравнений получены очертания равноустойчивых откосов в безразмерных коэффициентах, которые представлены на рис. 6. Согласно рис. 6

для нахождения действующего очертания равноустойчивого откоса определяют X и Z :

$$X = \frac{\bar{X}c}{\gamma}; \quad Z = \frac{\bar{Z}c}{\gamma} \quad (13)$$

и строят равноустойчивый откос, начиная с его верхней кромки.

При угле внутреннего трения $\varphi = 0$ устойчивость откоса определяется силами сцепления:

$$c = \frac{Qr}{Rl}, \quad (14)$$

где c — удельная сила сцепления, обеспечивающая устойчивость откоса; Q — масса призмы обрушения (рис. 5,а) равная $Q = \gamma \cdot h$; h — высота откоса; γ — удельный вес оползающего грунта; r — плечо силы относительно центра O ; l — длина дуги поверхности скольжения.

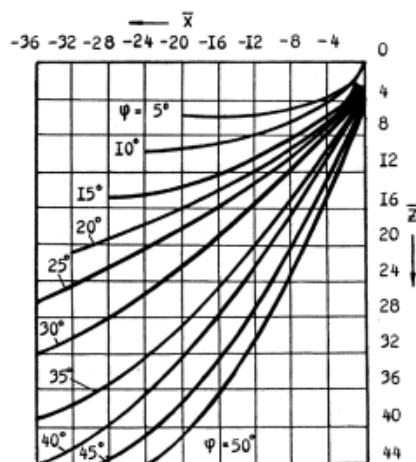


Рис.6. Графики для построения равноустойчивых контуров откосов в безразмерных координатах

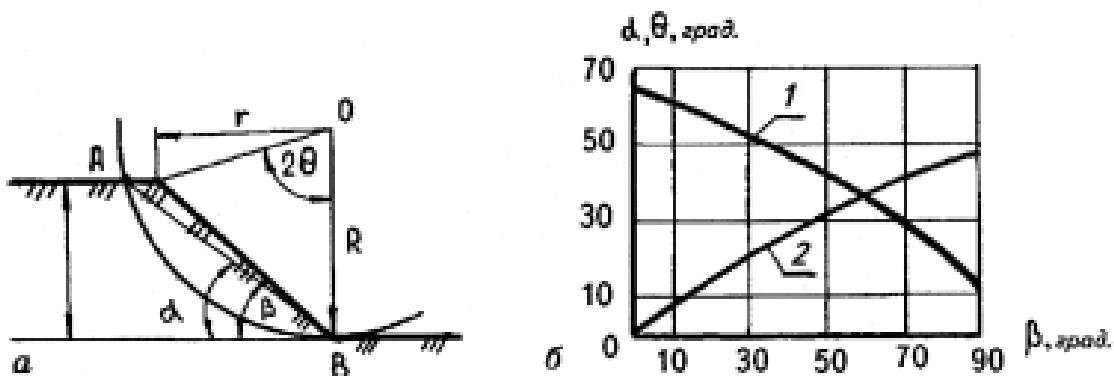


Рис. 7. Схемы к расчету устойчивости откоса: 1- зависимость $\angle \alpha$ от β ; 2 - зависимость $\angle \theta$ от $\angle \beta$; γ - удельный вес оползающего грунта; r — плечо силы относительно центра O ; R — радиус поверхности скольжения; l - длина дуги поверхности скольжения

Откос находится в устойчивом состоянии, если величина фактической силы сцепления c будет больше или равна критической c_{cv} или максимальной удельной силе сцепления:

$$c_{cv} = \frac{\gamma h}{f(\alpha, \beta, \theta)} = \frac{\gamma h}{k_s} \quad (15)$$

Вероятная поверхность скольжения пройдет через подошву откоса по такой дуге окружности, для которой требуется c_{cv} . При известном значении угла β значения углов α и θ и, следовательно, положение центра O определяют по графику Феллениуса (рис. 7).

Большое распространение на практике получил метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения, сущность этого метода заключается в отыскании круглоцилиндрической поверхности скольжения с центром в некоторой точке O , проходящей через подошву откоса, для которой коэффициент устойчивости будет минимальным (рис. 8).

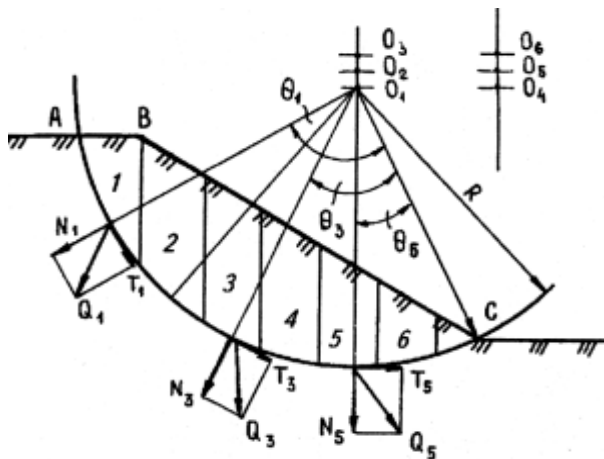


Рис. 8. Схема к расчету устойчивости откоса методом круглоцилиндрической поверхности скольжения

Расчет ведется для отсека, для чего оползающий клин ABC разбивается на n вертикальных отсеков. Делается предположение, что нормальные и касательные напряжения, действующие по поверхности скольжения, в пределах каждого из отсеков оползающего клина определяются весом данного отсека Q_i , и равны соответственно:

$$\sigma_i = \frac{N_i}{A_i} = \frac{Q_i \cos \varphi_i}{A_i} \quad (16)$$

$$\tau_i = \frac{T_i}{A_i} = \frac{Q_i \sin \varphi_i}{A_i} \quad (17)$$

Здесь, A_i — площадь поверхности скольжения в пределах i -го вертикального отсека, $A_i = l \cdot l_i$; l_i — длина дуги скольжения в плоскости чертежа.

Препятствующее оползанию откоса сопротивление сдвигу по рассматриваемой поверхности в предельном состоянии

$$\tau_u = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \quad (18)$$

Из (16) — (18) следует выражение для силы сопротивления сдвигу в пределах i -го отсека:

$$Q_i = A_i(\tau_u)_i = A_i(\sigma_i \operatorname{tg} \varphi_i + c) = N_i \operatorname{tg} \varphi_i + A_i c_i \quad (19)$$

Устойчивость откоса можно оценить отношением моментов удерживающих $M_{s,l}$ и сдвигающих $M_{s,a}$ сил. Соответственно коэффициент запаса устойчивости определим по формуле

$$k_s = \frac{M_{s,l}}{M_{s,a}} \quad (20)$$

Момент удерживающих сил относительно т. O представляет собой момент сил Q_i :

$$M_{s,l} = \sum_{i=1}^n Q_i R_i = R \sum_{i=1}^n (N_i \operatorname{tg} \varphi_i + 1 \cdot c_i \cdot l_i) \quad (21)$$

Момент сдвигающих сил относительно точки O :

$$M_{s,a} = \sum T_i R_i = R \sum_{i=1}^n Q_i \sin \theta_i \quad (22)$$

Тогда формулу (19) можно записать в следующем виде:

$$k_s = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i \cos \theta_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + 1 \cdot c_i \cdot l_i)}{\sum_{i=1}^n Q_i \sin \theta_i} \quad (23)$$

При наличии подземных вод учитывают фильтрационное давление, которое будет уменьшать устойчивость откоса. Фильтрационное давление определяют как нормальную составляющую:

$$N_f = A' \cdot \gamma_w, \text{ для } i\text{-й призмы или отсека} \quad N_{fi} = A'_i \cdot \rho_w \quad (24)$$

где A' — площадь, занятая фильтрационным потоком в оползающей призме грунта, равная $A' = A'_1 + A'_2 + A'_3$ (рис. 9); γ_w — удельный вес воды.

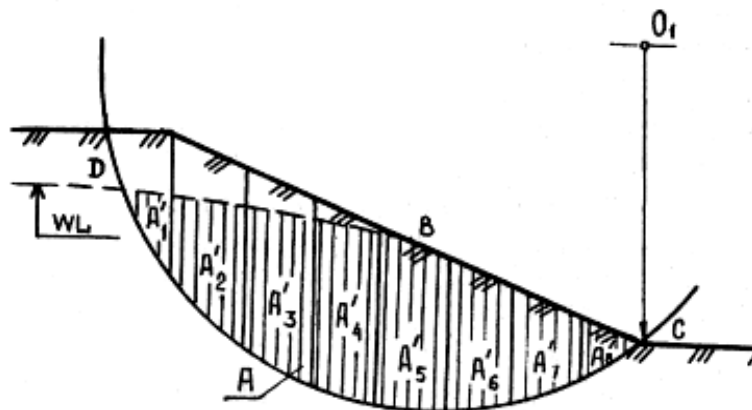


Рис. 9. Схема к определению площади, занятой фильтрационным потоком

Фильтрационное давление влияет только на нормальную составляющую формулы (23).

Устойчивость откоса согласно изложенной расчетной методике обеспечена, если $k_s > 1$. При проектировании сооружений коэффициент устойчивости назначают обычно в пределах 1,2—1,3.

Для решения практических задач установлен следующий порядок расчета. Из некоторого произвольного центра O_1 радиусом R через точку C проводят поверхность скольжения (рис. 9). Участок откоса, ограниченный дугой AC и ломаной линией откоса ABC , разбивают на ряд призм равной ширины, массу которых подсчитывают как площади соответствующих фигур, умноженных на удельный вес грунта. При наличии в откосе грунтов с различным удельным весом строят фиктивный профиль с удельным весом, приведенным к одному из имеющихся.

Далее по формуле (23) определяют коэффициент устойчивости. После того повторяют построения и расчеты при цилиндрических поверхностях скольжения, проведенных из новых центров O_2 , O_3 и т.д. до тех пор, пока не будет найдено минимальное значение k_s на первой вертикали.

Аналогично проводят расчет, определяя минимальное значение коэффициента устойчивости для второй вертикали, строя круглоцилиндрические поверхности, проведенные из центров O_4 , O_5 , O_6 . Затем такие же расчеты повторяют для третьей, четвертой и т.д. вертикалей, пока не будет определен самый минимальный коэффициент устойчивости. Поверхность скольжения, имеющая наименьшую величину k_s , будет наиболее вероятной поверхностью скольжения грунтов склона.

Задание для самостоятельного выполнения

Задача 1

Найдите максимальную высоту откоса, при которой обеспечивается условие устойчивости откоса (h_{\max}), если известно, что $c=0,1 \text{ кг/м}^3 = 1 \text{ т/ м}^3 = 0,01 \text{ МПа} = 0,01 \text{ МН м}^3$; $\gamma = 2 \text{ т/ м}^3 = 20 \text{ кН/ м}^3 = 20 \cdot 10^{-3} \text{ МН/ м}^3$.

Задача 2

Определите массу призмы обрушения откоса (рис. 6,а), если известно $h = 5 \text{ м}$, $c=0,1 \text{ кг/м}^3$, $\gamma = 2 \text{ т/ м}^3$ (при условии, что угол внутреннего трения $\varphi=0$).

Задача 3

Какими силами удельного сцепления c должен обладать откос идеально связанного массива грунта, ситуационная схема которого представлена на рис. 3, б, если известно $H_k = 7 \text{ м}$, $\gamma = 2 \text{ т/ м}^3$, $\alpha = 45^\circ$.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение следующих понятий: угол естественного откоса, склон, откос.
2. Каковы основные причины потери устойчивости откосов и склонов.
3. Решение каких типов задач позволяет выполнить теория предельного равновесия грунтов, развитая В.В. Соколовским?
4. Назовите основные элементы оползня.

Практическая работа №2

Оценка интенсивности плоскостного смыва (эрозия)

Под *плоскостным (поверхностным) смывом* понимается процесс удаления верхнего слоя почвы и грунта под действием мелких струй дождевых или талых вод, стекающих по склону сплошной водной пеленой по меняющимся микроруслам, густой сетью покрывающих склон (Тимофеев, 1978).

Плоскостной смыв на сельскохозяйственных землях получил широкое развитие на распаханых склонах и является наиболее распространенным видом эрозии почв. Развитие этого процесса связано с поверхностным стоком, образующимся при выпадении дождей или таянии снега, и стекающим по

склону в форме пластовых потоков или в виде мелких ручейков. При этом происходит уменьшение верхнего слоя почвы, выщелачивание органического вещества, ухудшение водно – физических свойств. О степени смытости почв судят по уменьшению содержания гумуса и по потере гумусового горизонта.

Классификация почв по степени смытости

Категория смытости	Потеря гумусового горизонта (A+B ₁), %	Уменьшение содержания гумуса (в слое почвы 0-50 или 0-25 см) по сравнению с несмытой почвой, %
Слабосмытые	До 25	10-20
Среднесмытые	25-50	20-50
Сильносмытые	50-75	более 50
Весьма сильносмытые	75-100	-

Отмечено, что в верхних частях склонов преобладает плоскостной смыв, в средних - как смыв, так и размыв, а в нижних - аккумуляция. Однако, процесс смыва, в зависимости от преобладающего фактора, может развиваться и иначе. Например, характер проявления смыва, вызываемого ливневыми осадками, существенно отличается от смыва, вызываемого интенсивным таянием снега.

В первом случае значительное количество осадков, выпадая за короткий промежуток времени, не успевает впитаться в почву и в зависимости от её свойств (гранулометрического состава, пористости и др.) вызывает развитие мелких эрозионных борозд или промоин. В условиях же снеготаяния верхний водонасыщенный слой почвы легко сплывает по нижележащему мерзлому горизонту (плащевая эрозия).

Плоскостной смыв на откосах земляного полотна автомобильных и железных дорог является наиболее распространенным видом дорожной эрозии. Особенно благоприятные условия для развития этого процесса существуют в аридных зонах: ливневый характер осадков, легкосмываемые лессовые породы и др. (с откосов дорожных насыпей за 10 лет эксплуатации смывается слой грунта толщиной 10-15 см, что соответствует объему 1800-2700 т/га).

Особенно интенсивный смыв происходит в первые 3 - 4 года, эксплуатации автомобильных дорог, когда даже на уплотненных, но плохо укрепленных откосах, в условиях выветривания, формируется рыхлый слой с пониженным сопротивлением отрыву частиц. В результате этого талая или дождевая вода, не имея возможности просочиться вглубь уплотненного тела дорожной насыпи, легко отрывает и смывает их к подошве откоса. При этом смытый грунт аккумулируется в кюветах, что приводит к нарушению

водоотвода и, как следствие, подтоплению основания земляного полотна и прилегающих к дорогам территорий.

Важнейшими факторами, которые в той или иной степени определяют развитие плоскостного смыва, являются: климат, рельеф, геологическое строение, почвы, растительность и антропогенная деятельность.

Климат влияет на смыв прямо и косвенно. Прямое воздействие оказывают осадки, их интенсивность и продолжительность, а также время их выпадения, косвенное - влажность воздуха, ветер и др.

Рельеф влияет на плоскостной смыв через крутизну, длину, форму и экспозицию склонов (откосов).

Зависимость степени смытости почв от крутизны склонов

Крутизна склонов, град.	Степень смытости почв, %			
	Слабая	Средняя	Сильная	Несмытые
до 1	0	0	0	100
1-2	58	3	0	39
2-5	66	29	1	4
5-10	41	30	26	3
более 10	18	18	64	0

Крутизна является одной из главных характеристик смыва, так как определяет скорость стекания поверхностных вод, а, следовательно, и их эродирующую силу. Наблюдения показывают, что при крутизне склонов до 2°, смыв почв и грунтов происходит слабо. На склонах от 2 до 5° смыв становится достаточно заметным, а при больших уклонах он проявляется интенсивно. Длина склона, обуславливая нарастание его кинетической энергии, способствует усилению смыва. При увеличении длины склона в 2 раза смыв почв может возрастать в 1,4 - 1,5 раза.

Форма продольного профиля склона обуславливает характер, ход и соотношение процессов эрозии и аккумуляции. Выпуклый склон считается наиболее эрозионноопасным. Здесь почвенный покров по степени смытости распределяется следующим образом: на водораздельных участках с уклонами от 0 до 2° располагаются несмытые и слабосмытые почвы, далее по склону, имеющему крутизну от 2 до 4°, залегают среднесмытые почвы, а еще ниже при уклоне от 4 до 8° - сильносмытые. На прямом склоне плоскостной смыв проявляется от водораздела до половины или двух третей склона. Ниже по склону смыв сменяется аккумуляцией. На склонах вогнутой и ступенчатой формы наиболее интенсивный смыв на крутых отрезках. На пологих участках происходит аккумуляция, где формируются намывные почвы.

Экспозиция склонов способствует как усилению, так и ослаблению плоскостного смыва. Это связано с различным нагреванием склонов, разной мощностью снежного покрова, снеготаянностью и т.д. В северных районах, на склонах северной экспозиции, запасы снега и глубина промерзания почв и грунтов больше, чем на южных. Поэтому здесь, по мере таяния снега, происходит постепенный смыв почв и грунтов, который превышает смыв на склонах южной экспозиции. На северных же склонах, в связи с небольшим притоком солнечной радиации, интенсивность снеготаяния несколько ниже, так как талые воды, стекая постепенно, способствуют почвам и грунтам противостоять смыву.

Геологический фактор в развитии плоскостного смыва определяется физико-механическими свойствами почв и грунтов (механический состав, удельное сцепление, водопроницаемость и др.). По этим свойствам горные породы подразделяют на легко-, средне- и трудноразмываемые.

Допустимая неразмывающая скорость

Виды горных пород	Плотность, г/см ³	Допустимая неразмывающая скорость, м/с
Пески мелкие	-	0,3-0,55
Суглинки легкие	менее 1,5	0,4-0,6
Суглинки легкие	более 1,5	0,6-0,7
Суглинки тяжелые	менее 1,5	0,6-0,8
Суглинки тяжелые	более 1,5	0,7-1,0
Глины средней плотности	1,2-1,6	0,8-1,2
Глины плотные	1,6-2,0	1,2-1,5
Известняки	-	2,5-4,0

Под *противоэрозионной устойчивостью почв* понимается сопротивляемость совместному воздействию капель дождя и потоков воды. Наиболее устойчивыми в противоэрозионном отношении являются черноземы. Это связано с большим содержанием гумуса, который во время дождя не дает набухать почве. Кроме того, на черноземе не образуется корка, способствующая интенсивному смыву. Весьма легкой смываемостью обладают засоленные почвы. Это связано с высоким содержанием в них катионов натрия, что придает почве дисперсность. Показателем устойчивости является влажность. Сухая почва легче поддается смыву, чем влажная. Значительную роль играют пылеватые фракции. Большое содержание этих частиц снижает водопроницаемость и способствует смыву почв.

Растительность защищает почвенный покров от ударного воздействия дождевых капель, снижает скорости течения временных водотоков,

повышает противозерозионную устойчивость почв, способствует равномерному распределению снежного покрова, снижает интенсивность снеготаяния и др.

Методика расчета интенсивности плоскостного смыва

1. Определяется количество смытого материала, м³/га:

$$V_{\text{см}} = M_{\text{см}} \cdot S;$$

$V_{\text{см}}$ – количество смытого материала;

$M_{\text{см}}$ – мощность смытого материала;

S – площадь смытого материала с гектара.

2. Зная плотность чернозема $\rho_{\text{ч}}$, можно определить количество смытого материала, т/га:

$$V \cdot \rho_{\text{ч}} = M_{\text{т}};$$

3. Полученные результаты сравнивают с табличными критериями и делают вывод об интенсивности смыва грунта с откоса.

Интенсивность плоскостного смыва

Категория интенсивности	Количество смытого материала с гектара, т/га	
	по М.Н. Заславскому, 1981	по В.М. Ивонину, 1986
Незначительная	до 0,5	-
Слабая	0,5-1,0	до 5,0
Средняя	1,0-5,0	5,0-10,0
Сильная	5,0-10,0	10,0-20,0
Очень сильная	>10,0	20,0-50,0
Чрезвычайно сильная	-	более 50,0

Задание для самостоятельного выполнения

Определить интенсивность смыва чернозема:

- средняя плотность чернозема 1200 кг/м³;
- площадь, подвергающаяся смыву 10000 м²;
- мощность смытого материала 150000 мм³/год.

Как изменится интенсивность смыва, если сократить площадь смыва в 4 раза путем озеленения откоса и его укрепления?

Какая должна быть обеспечена плотность грунта, слагающего откос, чтобы сократить количество смываемого материала в 2 раза?

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятию “плоскостной смыв”.
2. Назовите факторы, обуславливающие интенсивность плоскостного смыва.
3. В чем выражено влияние рельефа на развитие плоскостного смыва?
4. Что такое противозерозионная устойчивость почв и ее основные показатели?

Практическая работа №3

Расчет дренажных систем для перехвата поверхностного стока на обводнённой территории

Система дренажа выбирается в зависимости от характера защищаемого объекта и гидрогеологических условий. При проектировании новых кварталов и микрорайонов на территориях с высоким уровнем подземных вод должна быть разработана общая схема дренажей. В состав схемы дренажей входят системы дренажей, обеспечивающие общее понижение уровня подземных вод на территории квартала (микрорайона), и местные дренажи для защиты от подтопления подземными водами отдельных сооружений.

К дренажам, обеспечивающим общее понижение уровня грунтовых вод относятся дренажи: головной или береговой; систематический. К местным дренажам относятся дренажи: кольцевой; пристенный; пластовый.

К местным дренажам относятся также дренажи, предназначенные для защиты отдельных сооружений: дренаж подземных каналов; дренаж приямков; дорожный дренаж; дренаж засыпаемых речек, ручьев, логов и оврагов; откосный и застенный дренажи; дренаж подземных частей существующих зданий.

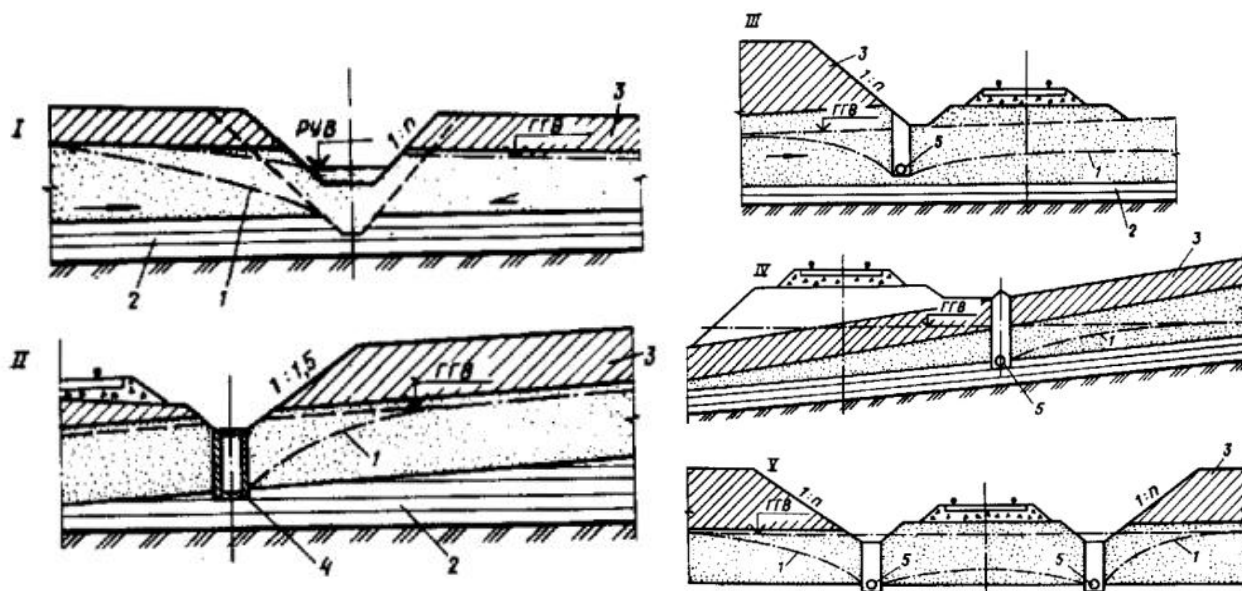


Рис. 10. Схемы конструкции дренажей: 1 - депрессионная кривая; 2 - водоупорный слой из глины; 3 - суглинок; 4 - железобетонный лоток; 5 - дренаж; 6 - балластный мешок; 7 - прислоненный дренаж; 8 - контрфорсный дренаж; 9 - шпуровой дренаж в скальных грунтах; 10 - застенный дренаж с обратным фильтром; 11 - берма; 12 - канава; 13 - галерея; 14 - оползень; 15 - штольня; 16 - поглощающий колодец; ГГВ - горизонт грунтовых вод

При благоприятных условиях (в песчаных грунтах, а также в песчаных прослойках при большой площади их распространения) местные дренажи могут одновременно способствовать общему понижению уровня подземных вод. На территориях, где подземные воды залегают в песчаных грунтах, следует применять системы дренажей, обеспечивающие общее понижение уровня подземных вод.

Местные дренажи в этом случае следует применять для защиты от подтопления грунтовыми водами отдельных особо заглубленных сооружений. На территориях, где подземные воды залегают в глинистых, суглинистых и других грунтах с малой водоотдачей, необходимо устраивать местные дренажи.

Местные «профилактические» дренажи нужно устраивать также при отсутствии наблюдаемых подземных вод для защиты подземных сооружений, располагаемых в глинистых и суглинистых грунтах. На территориях со слоистым строением водоносного пласта следует устраивать как общие системы дренажей, так и местные дренажи (рис. 10).

Общие системы дренажа следует устраивать для осушения обводненных песчаных прослоек, по которым вода поступает на дренируемую территорию. В этой системе могут быть использованы также отдельные местные дренажи, у которых радиус депрессионной кривой захватывает значительную площадь территории. Местные дренажи необходимо устраивать для подземных сооружений, закладываемых на участках, где водоносный пласт не полностью осушается общей системой дренажа, а также в местах возможного появления верховодки. На застроенных территориях, при строительстве отдельных зданий и сооружений, нуждающихся в защите от подтопления грунтовыми водами, должны устраиваться местные дренажи. При проектировании и строительстве этих дренажей необходимо учитывать их влияние на соседние существующие сооружения.

Методика расчета дренажа

1. Горизонтальный дренаж

$$Q_0 = K \cdot h \cdot (h / R + \pi / (l_n m / r_z + \pi R / 2m))$$

Q_0 – расход 1 п.м. дренажа, м³/сут.;

K – коэффициент фильтрации; $K = 0,05$ для суглинков;

h – глубина погружения несовершенной дрены под непониженный уровень грунтовых вод, м; r_z – радиус дрены, м;

$$R = h \sqrt{\pi} (K / 2W)$$

W – интенсивность просеивания для суглинков, 0,001 м/сут.

2. Вертикальный дренаж

$$Q_0 = 2 \cdot \pi \cdot T \cdot (S_0 / \ln (1 + \pi \cdot a \cdot t / r_0^2) + (2 \cdot W \cdot t / \mu \cdot f))$$

T – проводимость водоносного пласта, $T = K \cdot h_{cp}$;

K – коэффициент фильтрации, $K = 0,05$ м/сут.

S_0 – толщина пласта; a – уровнепроводность пласта, $a = T / \mu$;

$$f = a \cdot t / r_0^2;$$

t – время, 1 час; μ – водоотдача грунта, $\mu = 0,035$; r_0 – радиус скважины, м.

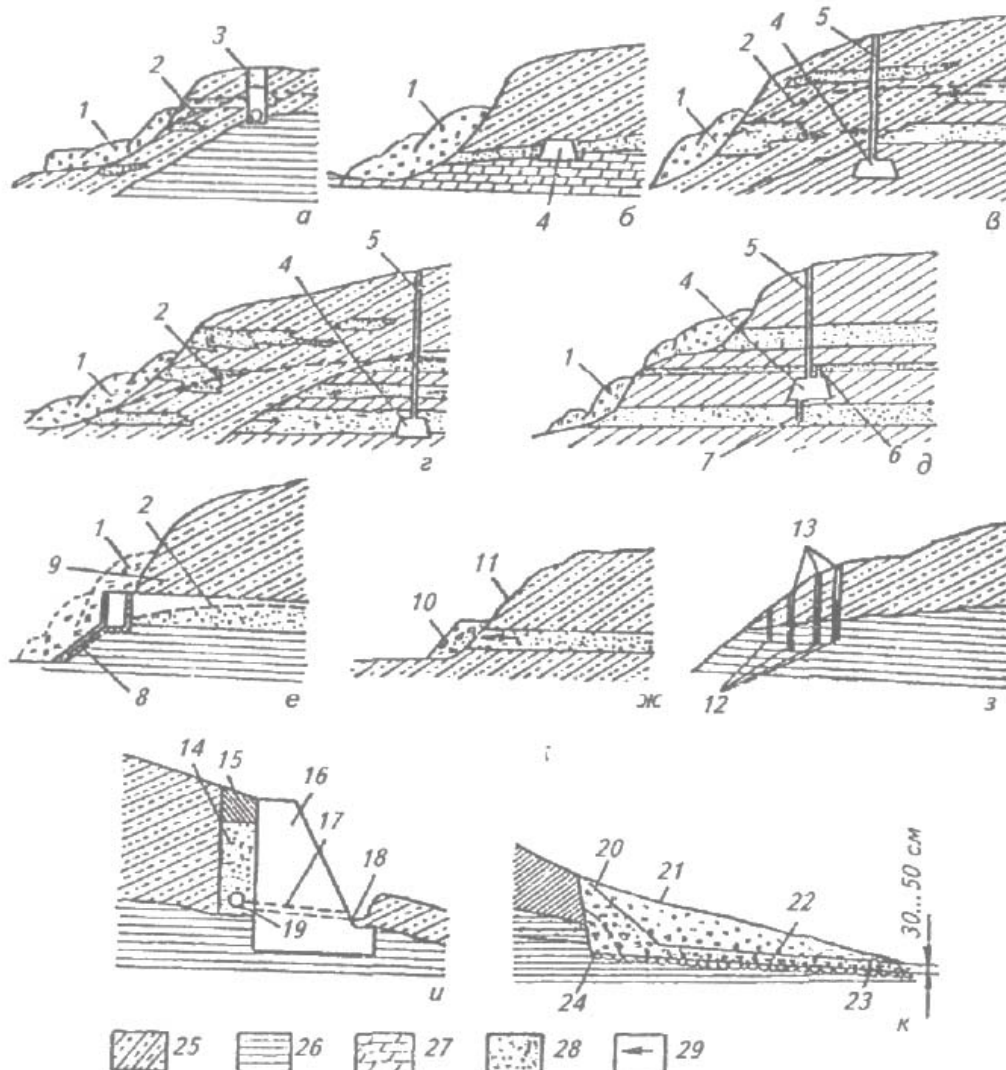


Рис.11. Перехват подземных вод:

а – горизонтальной трубчатой дренажной, б – при помощи дренажной штольни, в – при помощи системы вертикальных дрен (сквозных фильтров), г – при помощи дренажной штольни и системы сквозных фильтров, д – дренирование при помощи штольни и системы сквозных и забивных фильтров, е – каптаж родников с помощью водосборных колодцев, ж – фильтрующий контрбанкет, з – закрепление склона при помощи шпонок, и – укрепление откоса подпорной стенкой с застенным дренажем, к – каптаж родников методом прорезей.

1 – оползневые накопления, 2 – УГВ до понижения, 3 – трубчатая дрена, 4 – штольня, 5 – сквозной фильтр, 6 – забивной фильтр, 7 – забивной самоизливающийся фильтр, 8 – сливная труба, 9 – водосборный колодец, 10 – контрбанкет, 11 – спланированный откос, 12 – бетонные шпонки, 13 – тампоны из глины, 14 – фильтрующая обсыпка, 15 – обратная засыпка траншеи, 16 – подпорная стенка, 17 – выпуск из дренажной трубы, 18 – кювет, 19 – дренажная труба, 20 – каменная наброска, 21 – одерновка, 22 – каменная мостовая, 23 – гидроизоляция, 24 – гравий, песок, 25 – суглинок, 26 – коренные породы, 27 – мергель, 28 – песок, 29 – направление движения подземных вод.

Расчет притока к вертикальному дренажу

Расход, поступающий в одиночную дренажную скважину:

$$Q_{\text{общ}} = 2 \cdot \pi \cdot T \cdot R_{\phi} \cdot \Delta H / (\ln S / \pi \cdot D) + (2 \pi \cdot l_1 \cdot l_2 / S),$$

T – мощность потока; S – расстояние между скважинами;

D – диаметр скважин в соответствии с принятой конструкцией скважин с обсыпкой; ΔH – понижение напора в скважине.

$$\Delta H = (H_2 - H_1) / d \cdot l_1 + H_1 - H_0;$$

H_1 – напор воды на контуре стока;

H_2 – напор воды на контуре питания;

H_0 – напор воды в скважине, $H_0 = 0$;

$$d = l_1 + l_2;$$

$$H = (q_{\text{общ}} \cdot A) / (\pi \cdot R_{\text{ср}}) + (0,5 \cdot X/a) \cdot (H_2 - H_1 - q_{\text{общ}} \cdot l_2 / R_{\text{ср}} \cdot T) + H_1;$$

$$q_{\text{общ}} = Q_{\text{общ}} / S;$$

$$A = \ln(1 - l \cdot x \cdot p \cdot \pi \cdot (x_0 - x) / T);$$

$$x_0 = d / 2 - l_1;$$

$$B = \pi \cdot (x_0 - x) / T.$$

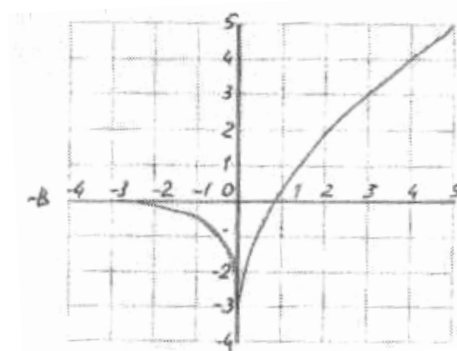


Рис. 12. График для определения коэффициента B

Задание для самостоятельного выполнения

Рассчитайте вертикальный и горизонтальный дренажи по следующим исходным данным:

Величина	Значение		Ед. изм.
	Вариант 1	Вариант 2	
Глубина погружения дрены, h	1,80	2,0	м
Радиус депрессии, R	9,0	10,0	м
Превышение дрены над водоупором, m	7,0	5,5	м
Толщина пласта, S_0	11,0	9,2	м
Радиус скважины, r_0	0,1	0,05	м
Мощность потока, T	4,0	5,0	м
Расстояние между скважинами, S	10	9	м
Напор воды на контуре стока, H_1	4	3,5	м
Напор воды на контуре питания, H_2	12	10	м
Диаметр скважины, D	0,8	0,5	м
Тип грунтов	суглинки		-

Контрольные вопросы

1. Какие виды дренажей применяются для понижения УГВ?
2. Укажите область применения различных видов дренажей.
3. Какие схемы конструкций дренажей применяют для укрепления дорожного и ж\д полотна?

Практическая работа №4

Основы расчета и проектирования ливневой канализации с целью предотвращения образования поверхностного стока

Под *неорганизованным сбросом загрязняющих веществ* подразумевается вынос загрязняющих веществ с территории водосбора предприятий и организаций и прилегающей инфраструктуры (относящейся к промплощадкам) неорганизованным поверхностным стоком, т.е. отведение дождевых, талых и поливочных вод за пределы территорий предприятий по естественному уклону местности в кюветы дорог, овраги, непосредственно в реки, ручьи, пруды и иные водные объекты либо в ливневую канализацию соседних предприятий и организаций. Неорганизованный сброс загрязняющих веществ с территории предприятий и организаций и расчет платы за загрязнение окружающей среды осуществляется на основе проведенной инвентаризации, согласованной Управлением Ростехнадзора по УР. Поверхностный сток с территории промышленных предприятий и организаций следует подвергать очистке в соответствии с п. 3.23, СНиП 2.04.03-85,) и отводить через организованный выпуск (рис. 13, 14, 15).

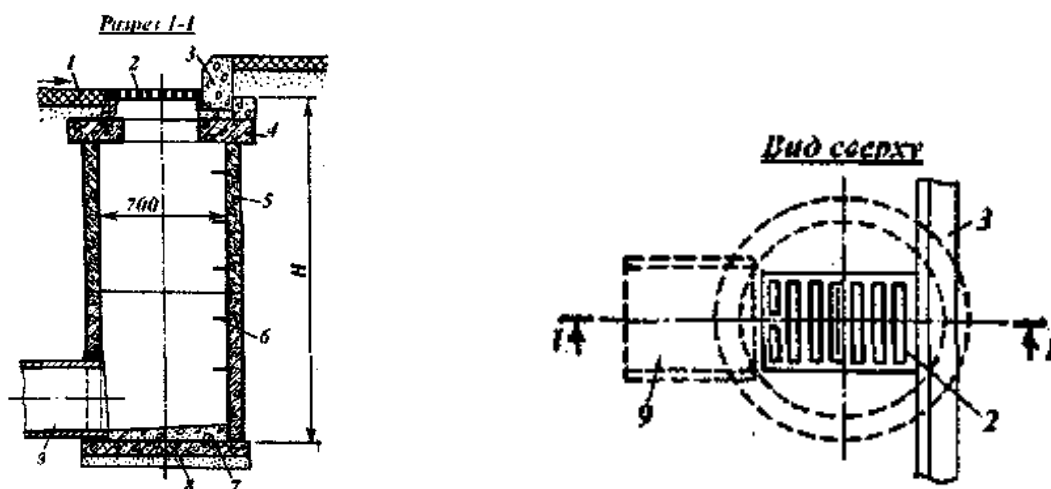


Рис. 13. Дождеприемник из сборных железобетонных элементов:

- 1 – проезжая часть, покрытая асфальтом; 2 – решетка; 3 – бордюрный камень; 4 – плита перекрытия; 5 – кольца стеновые; 6 – ходовые скобы; 7 – бетон; 8 – плита днища; 9 – соединительная труба

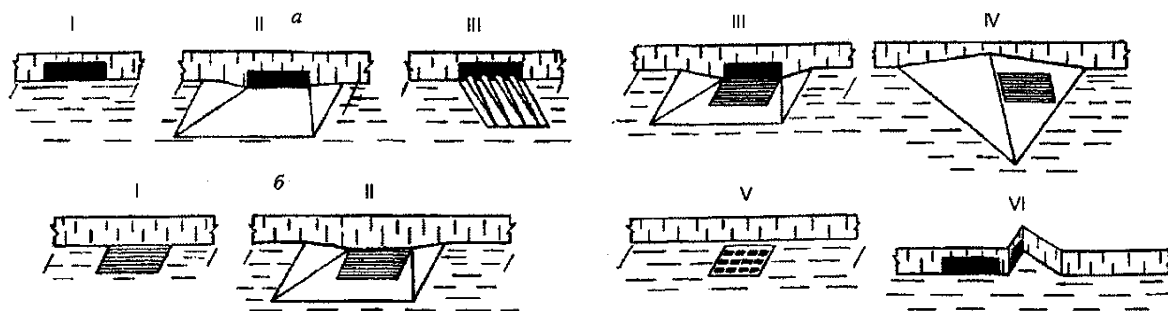


Рис. 14. Бордюрные (а) и кюветные (б) впуски:

I – впуск, расположенный вровень с поверхностью дороги; II – то же, ниже поверхности дороги; III – то же, отклоняющийся или комбинированный;
IV – бордюрный впуск; V – с перфорированной решеткой;
VI – бордюрный впуск с отступом.

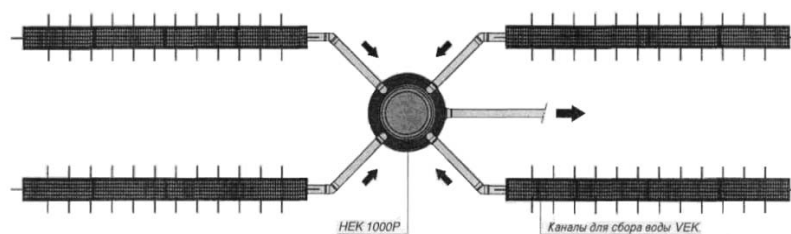


Рис. 15. Система благоустройства ливневой канализации и очистных сооружений в сборе

Сброс поверхностных сточных вод подлежит нормированию независимо от способа их отведения (организованно или неорганизованно) и типа водоприемника (водный объект, рельеф местности).

Расход сточных вод определяется по фактическим замерам (по расходомерам или объемным методом), а в случае их отсутствия - рассчитывается по формулам методики по расчету платы за неорганизованный сброс загрязняющих веществ в водные объекты. При наличии результатов химико-аналитических замеров за последние три года (не реже 4 раз в год) расчет рекомендуется проводить по усредненным концентрациям загрязняющих веществ.

Определение расхода поверхностного стока ливневых (дождевых и талых сточных вод) осуществляется с учетом общей площади территории природопользователя и степени распространения водонепроницаемых поверхностей. Площади водонепроницаемых покрытий (дороги, площадки и т.п.) и общая площадь территории природопользователя, на которой

формируется загрязненный поверхностный сток, определяются по данным генерального плана землеустройства, а при его отсутствии – по данным формы статистической отчетности N 22 "Отчет об использовании земель", утвержденной постановлением Госкомстата РФ от 27.08.98 г. N90.

Методика расчета объема дождевого стока

Объем стока дождевых вод с 1 га рассчитывается по формуле:

$$W_d = 2,5 \cdot H_d \cdot K_d \cdot K_{вн}, (\text{м}^3/\text{га}), \text{ где}$$

H_d – слой осадков за теплый период со средними температурами выше 0°C; определяется по данным метеорологических наблюдений Удмуртского республиканского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, мм;

K_d – коэффициент, учитывающий объем стока дождевых вод в зависимости от интенсивности дождя для данной местности продолжительностью 20 мин. при периоде однократного превышения расчетной интенсивности дождя, равном 1 году, для Удмуртии равен 0,75;

$K_{вн}$ – коэффициент, учитывающий интенсивность формирования дождевого стока в зависимости от степени распространения водонепроницаемых поверхностей $\Pi_{вн}$ (кровли зданий, дороги, площадки, тротуары и т.п.) на площади водосбора определяется по данным табл. 3.

Таблица 3 – Зависимость коэффициента, учитывающего интенсивность формирования дождевого стока, от степени распространения водонепроницаемых покрытий

$\Pi_{вн}$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$K_{вн}$	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2

Коэффициент $\Pi_{вн}$ (%) отражает долю площади водонепроницаемых поверхностей в общей площади территории природопользователя, с которой осуществляется поверхностный сброс, выраженную в процентах.

Объем дождевого стока, сбрасываемого с территории промплощадки за год:

$$Q_d = W_d \cdot S_{\text{общ}}, \text{ где}$$

W_d – объем стока дождевых вод с 1 га;

$S_{\text{общ}}$ – общая площадь территории (водосбора) природопользователя, га.

Методика расчета объема талого стока

Объем стока талых вод с 1 га рассчитывается по формуле:

$$W_T = H_T \cdot K_T \cdot K_B \text{ (м}^3\text{/га)}, \text{ где}$$

H_T – слой осадков за холодный период со средней температурой ниже 0°C, мм (определяется по данным метеорологических наблюдений Удмуртского республиканского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды);

K_T – коэффициент, учитывающий объем стока талых вод в зависимости от условия снеготаяния, для Удмуртии равен 0,56;

K_B – коэффициент, учитывающий вывоз снега с территории природопользователя. При отсутствии вывоза, коэффициент принимается равным 10 с уменьшением его значения пропорционально объему вывоза снега.

Объем талого стока, сбрасываемого с территории промплощадки за год:

$$Q_T = W_T \cdot S_{\text{общ}}, \text{ где}$$

W_T – объем стока талых вод с 1 га;

$S_{\text{общ}}$ – общая площадь территории (водосбора) природопользователя, га.

Методика расчета объема поливомоечного стока

Объем стока поливомоечных вод с 1 га рассчитывается по формуле :

$$W_{\text{п.м.}} = 10 \cdot q \cdot K_{\text{п.м.}} \cdot N \text{ (м}^3\text{/га)}, \text{ где}$$

q – расход воды на одну поливку (мойку) твердых покрытий за отчетный период принимается по данным учета или в размере 1,2 - 1,3 л/м²;

N – количество поливок (моек) в год (принимается по данным учета или в соответствии с нормативными документами, регламентирующими правила эксплуатации промплощадок);

$K_{\text{п.м.}}$ – коэффициент стока поливомоечных вод принимается равным 0,5.

Объем поливомоечного стока, сбрасываемого с территории промплощадки:

$$Q_{\text{п.м.}} = W_{\text{п.м.}} \cdot S_{\text{тв.}}, \text{ где}$$

$W_{\text{п.м.}}$ – объем стока поливомоечных вод с 1 га;

$S_{\text{тв.}}$ – площадь твердых покрытий территории предприятия.

При осуществлении природопользователем контроля и учета сброса поверхностного стока с территории его объем принимается на основе фактических данных.

Общий объем ($W_d + W_T + W_{\text{п.м.}}$) или составляющие поверхностного стока уменьшаются на величину его использования природопользователем в системе технического водоснабжения.

Масса сброса загрязняющих веществ с городских территорий, предприятий и организаций

Нормативы сброса загрязняющих веществ с поверхностными сточными водами устанавливаются по массе загрязняющих веществ. Для определения предельно допустимой массы сброса загрязняющего вещества используется величина допустимой концентрации, определяемая по нормативным документам в зависимости от приемника сточных вод.

Организованный сброс сточных вод на рельеф местности приравнивается к сбросу в водоем, нормативы ПДС в этом случае устанавливаются на основе перечней ПДК в зависимости от категории водоема. Допустимые концентрации, принятые для расчета ПДС представлены в таблице 3.

Нормативы ПДС (ВСС) устанавливаются в г/час, т/год по показателям, определенным отдельно для каждого выпуска.

При отсутствии результатов анализов, на момент разработки проекта, допускается использование нормативных справочных данных:

- для предприятий, сток с которых по своему составу близок к стоку с селитебной зоны и не содержит специфических веществ с токсичными свойствами, - данных таблицы 3.

Масса сброса загрязняющего вещества с неорганизованным стоком с территории (водосбора) природопользователя определяется по формуле:

$$M_i = S \cdot (W_d \cdot m_{id} + W_t \cdot m_{it}) \cdot 10^{-6} + S_{п.м.} \cdot W_{п.м.} \cdot m_{ип.м.} \cdot 10^{-6}, \text{ где}$$

S – площадь территории (водосбора) природопользователя, га;

$W_d, W_t, W_{п.м.}$ – объем стока соответственно дождевых, талых и поливочных вод, м³/га;

$m_{id}, m_{it}, m_{ип.м.}$ – концентрация i -го загрязняющего вещества в стоке соответственно дождевых, талых и поливочных вод, мг/л;

$S_{п.м.}$ – площадь водонепроницаемых покрытий, подвергающаяся мокрой уборке, га.

Таблица 3 – Концентрации основных загрязняющих веществ в поверхностном стоке на застроенных участках территории и ПДК, принятые для расчета ПДС, (мг/л)

Наименование загрязняющих веществ	Концентрации на застроенных участках территорий			ПДК, принятые для расчета ПДС	
	Дождевые воды	Талые воды	Поливочные воды	Дождевые воды	Талые воды
Взвешенные	250	3500	500	15	15
Нефтепродукты	10	30	30	0,3	0,3
БПК	30	90	100	6	6
ХПК	100	250	100	30	30

Сульфаты	100	500	100	100	500
Хлориды	200	1500	200	200	350
Азот	2	4,3	2	2	4,3
Азот общий	4,9	10,5	4,9	4,9	10,5
Нитраты	0,08	0,17	0,08	0,08	0,17
Нитриты	0,08	0,17	0,08	0,08	0,17
Кальций	43	113	43	43	113
Магний	8	14	8	8	14
Железо	0,3	1,7	0,3	0,3	1,7
Медь	0,02	0,076	0,02	0,02	0,08
Никель	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02
Цинк	0,3	0,55	0,3	0,3	0,55
Фосфор общий	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08

Примеры расчетов

Пример 1. Площадь территории предприятия по категориям:

общая площадь территории - 0,193 га, в т.ч.

- площадь твердых покрытий - 0,116 га,

- площадь газонов - 0,050 га,

- под зданиями и сооружениями - 0,027 га.

Площадка находится в массиве многоэтажной жилой застройки г. Ижевска. Территория, прилегающая к зданию предприятия, благоустроена и огорожена металлическим забором. Часть территории заасфальтирована, газон засеян травой и кустарниками. Снег зимой не вывозится. Рассчитать объемы стока дождевых и талых вод с территории предприятия.

Решение

Объем стока дождевых вод.

По многолетним данным метеостанции «Ижевск» количество осадков за теплый период (апрель - октябрь) составляет $H_d = 353$ мм; коэффициент, учитывающий объем стока дождевых вод в зависимости от интенсивности дождя для Удмуртии $K_d = 0,75$.

Степень распространения водонепроницаемых поверхностей:

$$P_{\text{вн}} = (1 - S_{\text{газонов}}/S_{\text{общ}}) \cdot 100\% = (1 - 0,050/0,193) \cdot 100\% = 74\%,$$

следовательно по табл. 1 при $P_{\text{вн}} = 70\%$ коэффициент, учитывающий интенсивность формирования дождевого стока $K_{\text{вн}} = 1,6$.

Объем дождевого стока с 1 га рассчитывается: $W_d = 2,5 \cdot 353 \cdot 0,75 \cdot 1,6 = 1059,0 \text{ м}^3/\text{га}$.

Объем дождевого стока, сбрасываемого с территории промплощадки неорганизованно, равен: $Q_d = 1059,0 \cdot 0,143 = 151,44 \text{ м}^3/\text{год}$.

Объем стока талых вод.

По многолетним данным метеостанции «Ижевск» количество осадков за холодный период (ноябрь - март) составляет $H_t = 185$ мм; коэффициент,

учитывающий объем стока талых вод в зависимости от условия снеготаяния для Удмуртии равен $K_T = 0,56$; т.к. снег не вывозится, то коэффициент, учитывающий вывоз снега с территории природопользователя $K_B = 10$.

Объем талого стока с 1 га равен: $W_T = 185 \cdot 0,56 \cdot 10 = 1036,0 \text{ м}^3/\text{га}$.

Объем талого стока, сбрасываемого на рельеф местности неорганизованно: $Q_T = 1036,0 \cdot 0,143 = 148,15 \text{ м}^3/\text{год}$.

Пример 2. Общая площадь водосбора предприятия $S_{\text{общ}} = 0,143 \text{ га}$, площадь твердых покрытий $S_{\text{ТВ}} = 0,116 \text{ га}$, объем стока дождевых вод $W_d = 1111,95 \text{ м}^3/\text{га}$, объем стока талых вод $W_T = 1036,0 \text{ м}^3/\text{га}$, объем стока поливочных вод $W_{\text{п.м.}} = 32,5 \text{ м}^3/\text{га}$. Площадка находится в массиве многоэтажной жилой застройки. Территория, прилегающая к зданию предприятия, благоустроена и огорожена металлическим забором. Рассчитать массу сброса загрязняющих веществ.

Решение

Т.к. территория предприятия благоустроена, а само предприятие не относится к специфическим отраслям промышленности, то концентрации загрязняющих веществ в поверхностном стоке берем по табл. 3;

Определим массу сброса загрязняющего вещества с территории природопользователя:

$$M_i = S \cdot (W_d \cdot m_{\text{д}} + W_T \cdot m_{\text{т}}) \cdot 10^{-6} + S_{\text{п.м.}} \cdot W_{\text{п.м.}} \cdot m_{\text{п.м.}} \cdot 10^{-6}$$

Определим массу взвешенных веществ (по табл.3): $m_{\text{в.в. д}} = 250 \text{ мг/л}$,

$m_{\text{в.в. т}} = 3500 \text{ мг/л}$, $m_{\text{в.в. п.м.}} = 500 \text{ мг/л}$.

$$M_{\text{в.в.}} = 0,143 \cdot (1111,95 \cdot 250 + 1036,0 \cdot 3500) \cdot 10^{-6} + 0,116 \cdot 32,5 \cdot 500 \cdot 10^{-6} = 0,5602 \text{ т/год}.$$

Аналогично делается по всем остальным загрязняющим веществам:

$$\text{Масса нефтепродуктов: } M_{\text{нефт.}} = 0,143 \cdot (1111,95 \cdot 10 + 1036,0 \cdot 30) \cdot 10^{-6} + 0,116 \cdot 32,5 \cdot 30 \cdot 10^{-6} = 0,0061 \text{ т/год}.$$

$$\text{Масса БПК}_{\text{полн}}: M_{\text{БПК}} = 0,143 \cdot (1111,95 \cdot 30 + 1036,0 \cdot 90) \cdot 10^{-6} + 0,116 \cdot 32,5 \cdot 100 \cdot 10^{-6} = 0,0185 \text{ т/год}.$$

$$\text{Масса ХПК: } M_{\text{ХПК}} = 0,143 \cdot (1111,95 \cdot 100 + 1036,0 \cdot 250) \cdot 10^{-6} + 0,116 \cdot 32,5 \cdot 100 \cdot 10^{-6} = 0,0533 \text{ т/год}.$$

$$\text{Масса сульфатов: } M_{\text{SO}_4^{2-}} = 0,143 \cdot (1111,95 \cdot 100 + 1036,0 \cdot 500) \cdot 10^{-6} + 0,116 \cdot 32,5 \cdot 100 \cdot 10^{-6} = 0,0904 \text{ т/год}.$$

$$\text{Масса хлоридов: } M_{\text{Cl}^-} = 0,143 \cdot (1111,95 \cdot 200 + 1036,0 \cdot 1500) \cdot 10^{-6} + 0,116 \cdot 32,5 \cdot 200 \cdot 10^{-6} = 0,2548 \text{ т/год}.$$

Задания для самостоятельного выполнения

Задача 1

Рассчитать объем дождевых, талых вод и общий объем годового поверхностного стока с территории предприятия N. По данным метеостанции количество осадков за теплый и холодный периоды составляет 341 и 162 мм соответственно. Вывоз снега не производится. Полив территории не осуществляется. Данные о площадях представлены в табл. 4:

Таблица 4

Вариант	Площадь, м ²		
	кровля	асфальтовые покрытия	газоны
I	1121,8	2085,0	300,5
II	2886,4	60,0	7203,6

Задача 2

По многолетним данным метеостанции количество осадков в теплый (214 дней) и холодный (151 день) периоды составило соответственно 353 и 195 мм. Общая площадь территории ООО «С...» - 0,7538 га, в том числе:

- площадь крыш зданий и сооружений - 0,1956 га;
- площадь асфальтовых покрытий - 0,4558 га;
- площади грунтовых покрытий, зеленых насаждений и газонов - 0,1024

га.

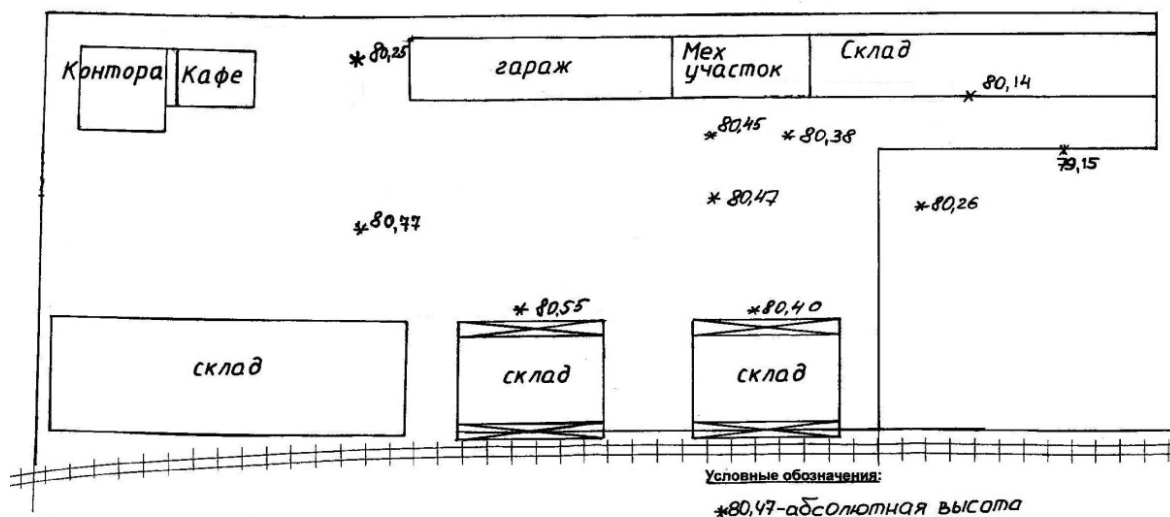


Рис. 16. Карта – схема расположения подразделений на территории промплощадки ООО «С...»

Определить направление поверхностного стока на территории ООО «С...» (рис. 16). Рассчитать объем дождевых, талых вод и общий объем

годового поверхностного стока с территории предприятия. Вывоз снега не производится. Полив не осуществляется. Разработать систему сбора поверхностных сточных вод: отметить на карте-схеме расположение лотков (каналов) и коллекторов.

Контрольные вопросы

1. Понятие и особенности формирования поверхностного стока. Факторы, определяющие направление движения поверхностного стока.
2. Порядок и методика расчета объемов талых, дождевых и поливочных стоков с территории.
3. Влияние поверхностного стока на процессы разрушения поверхностного слоя почв и грунтов.
4. Назовите основные элементы сооружений сбора и отвода поверхностного стока.

Практическая работа №5

Укрепление откосов. Противоэрозионные мероприятия

Современные противоэрозионные мероприятия, направленные на защиту почв делятся на четыре группы: организационно-хозяйственные, агротехнические, лесомелиоративные и гидротехнические.

Организационно-хозяйственные мероприятия предназначены для обеспечения правильного сочетания и применения тех или иных противоэрозионных мероприятий. Сюда входит проектирование и контроль за функционированием систем. Как известно, кондиционное проектирование невозможно без достоверного прогноза, поэтому изучение природных условий и их влияния на развитие смыва является важнейшей задачей этой группы.

Агротехнические противоэрозионные мероприятия подразделяются на следующие подгруппы: 1) водозадерживающие; 2) водопоглощающие; 3) водосбросные; 4) повышающие противоэрозионную стойкость почв; 5) защищающие почву от непосредственного воздействия дождя и стока; 6) комплексные.

К водозадерживающим мероприятиям относят следующие: создание противоэрозионного нанорельефа (лунок, валков, борозд), обработка и посев поперек склона, контурное обвалование и др. Водопоглощающие мероприятия

направлены на увеличение инфильтрационной способности почв. Сюда входят все виды щелевания, полосное рыхление, кротование и др. Водосборные мероприятия проводятся для обеспечения отвода поверхностных вод. Для этой цели служат водоотводящие борозды, залуженные водосборы и распылители стока.

Повышение противоэрозионной устойчивости проводится путем увеличения почвенных агрегатов и сцепления между ними. Для защиты почв от воздействия дождя и поверхностного стока применяется полосное и сплошное мульчирование. Комплексные мероприятия включают все приемы, способствующие повышению почвозащитных свойств растительности.

Из лесомелиоративных мероприятий для борьбы с плоскостным смывом чаще всего применяются посадки кустарниковых и лесокустарниковых полос, закладываемых поперек склонов на пашне, а также лесные и кустарниковые насаждения на сильносмытых и размытых склоновых землях.

Гидротехнические мероприятия служат для перехвата и отвода дождевых и талых вод, а также для понижения уровня грунтовых вод и отвода их с заболоченных участков. Сооружения в основном представлены бороздами, валами и сетью каналов.

На орошаемых землях все мероприятия по борьбе со смывом можно подразделить на три группы: организационно-хозяйственные, гидротехнические и инженерно-технические. *Организационно-хозяйственные и гидротехнические* мероприятия выполняют те же функции, что и на неорошаемых (богарных) землях.

К числу задач *инженерно-технических мероприятий* следует отнести: регулярную планировку поливных участков и поверхностей откосов дренажных и сбросных каналов, контроль за состоянием всевозможных сооружений, постоянное усовершенствование поливной техники и др.

В практике дорожного строительства среди мер направленных на борьбу с поверхностным смывом со склонов и откосов наибольшее развитие получили биологические, инженерные, химические и гидротехнические.

Биологическая защита, как от плоскостной, так и от линейной эрозии осуществляется следующими способами: с помощью естественного дерна, травосеянием, искусственными дерновыми коврами.

Инженерные противоэрозионные мероприятия основаны на применении для укрепления откосов решетчатых конструкций, пленочных и нетканых материалов.

Химические мероприятия основаны на применении материалов, обладающих вяжущими свойствами (битумные и латексные эмульсии,

битумно-латексные смеси), а также искусственных полимероструктурообразователей, которые образуют в грунтах водопрочные агрегаты, увеличивая при этом водопоглощение и уменьшая сток воды. Оструктуренные грунты менее подвержены воздействию дождевых капель, а смыв с откосов уменьшается в 10-20 раз.

Гидротехнические мероприятия направлены на отвод воды с водосборных площадей. Для этого сооружаются водоотводящие и водонаправляющие валы, нагорные каналы и др. Разработка и внедрение комплекса противозерозионной защиты требует всестороннего изучения плоскостного смыва как на сельскохозяйственных угодьях, так и на различных инженерных сооружениях. Наиболее часто на практике применяют сооружения из габионных конструкций (подпорные стены, “стена в грунте”, береговое крепление матрасно-тюфячными габионными конструкциями и др.), которые являются оптимальным решением по предотвращению агрессивных природных и антропогенных воздействий.

Преимуществом этих конструкций являются высокая степень надежности, низкая вероятность механического и гидрологического воздействий на проектируемый трубопровод. Использование традиционных креплений (бетонных и железобетонных плит) недопустимо, так как они будут подмываться, опрокидываться, разрушаться вследствие проседания грунта.

Методика расчета

1. Угол заложение откоса, при котором не требуется устанавливать дополнительное крепление. По таблице 5 определяем $\tan \alpha$;

$$m = 1 / \tan \alpha, \text{ где}$$

m – заложение откоса.

2. Оценка устойчивости блока на опрокидывание:

$$m = 1 / \tan \alpha;$$

$$\beta = \arctg (a / 2b);$$

если $\alpha < \beta$, то блок не опрокидывается.

3. Расчет упора крепления откоса: $\Delta T_0 = \Delta T \cdot (\cos \alpha - \sin \alpha \cdot \tan \varphi)$;

$$P = C_0 / (\gamma \cdot \sin (\pi / 4 + \varphi_0 / 2) \cdot \tan^2 (\pi / 4 + \varphi_0 / 2));$$

$$q = \Delta T_0 / (\gamma \cdot l_b \cdot \tan^2 (\pi / 4 + \varphi_0 / 2));$$

$$h = (P + \sqrt{P^2 + 4q}) / 2;$$

$$\tan \alpha_\beta = h_b / 2d_b.$$

4. Оценка анкерного крепления:

$$n_a = \Delta T / R_a, \text{ где}$$

R_a - прочность одного анкера; R_T - прочность троса.

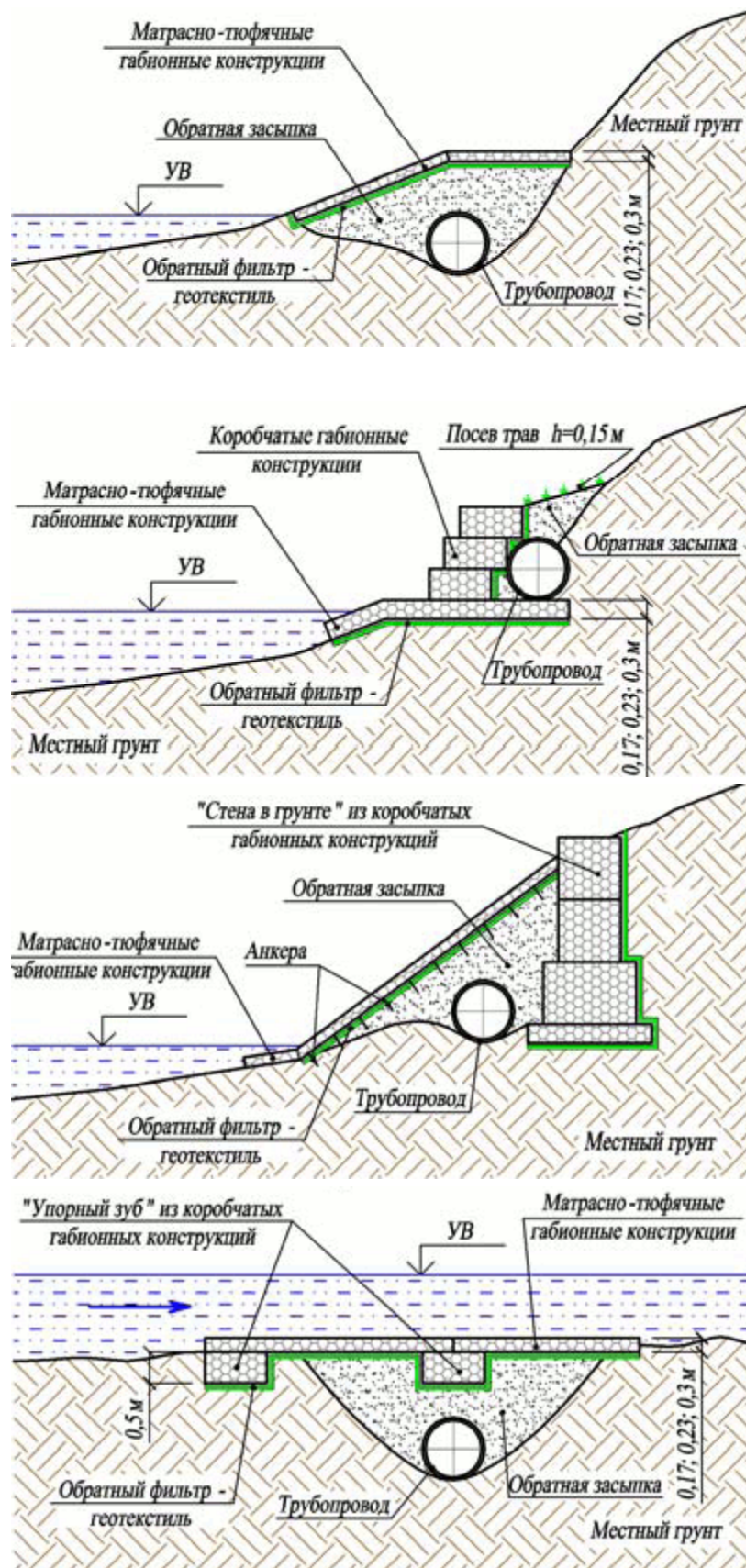


Рис. 17. Противозрозионные и грунтоукрепляющие конструкции с применением габионов различных типов



Рис. 18. Подпорная стенка из габионных блоков

Задания для самостоятельного выполнения

Задача 1

Земляное полотно дороги 3 категории состоит из среднезернистого песка. Определить заложение откоса, при котором не требуется устанавливать дополнительное крепление УГЗБМ.

Задача 2

Откос имеет заложение $m = 1 - 2$, если выбран УГЗБМ с величинами $a = 19$, $b = 12$, тип бетонного блока 1. Оценить блок на опрокидывание.

Задача 3

Выбран УГЗБМ с блоком типа 2, $l_b = 30$ см. Заложение откоса 1:1, т.е. $m_0 = 1$, т.е. $\text{tg } \alpha = 1$, $a = \pi/4$. Грунт земляного полотна – суглинок. Высота откоса 5 м. Дорога 4-ой категории. Провести расчет укрепления (ΔT).

Задача 4

В условиях предыдущей задачи грунт основания – суглинок, $\gamma = 1,92$ г/см³, угол внутреннего трения, которого $\varphi = 8^\circ$, $c_0 = 0,012$. Блоки типа 2, $h_b = 24$ см., разница между стороной срединного основания и нижнего основания $d_b = 4$ см. Рассчитать упор.

Задача 5

Прочность одного анкера, заглубленного на 0,4 м. в откос, примем равной $R_a = 32$. Прочность троса принимается $R_T = 2400$, $\Delta T = 547$. Рассчитать крепления анкерами как тросами.

Контрольные вопросы

1. Какими способами ведется борьба с плоскостным смывом на сельскохозяйственных землях?
2. Мероприятия по борьбе со смывом на орошаемых землях и на дорогах.
3. Назовите подгруппы агротехнических противоэрозионных мероприятия.

Практическая работа №6

Основы расчетов инженерно-биологических сооружений

При создании новых или обустройстве уже существующих природоприближенных русел, разработке территорий с выраженным рельефом, оврагов и откосов необходимо в первую очередь использовать местные строительные материалы. Особенно широкое применение местных материалов нашло в укреплении откосов русел рек (борьба с береговой эрозией). Условно их можно подразделить на три основных типа: живые; мертвые; комбинированные.

К живым обычно относят местные строительные материалы *растительного происхождения*: щебень, песок, камень и каменные отсыпки, облицовки, мостовые. Помимо этого, в число мертвых материалов входят искусственно создаваемые материалы: бетон и железобетон и элементы из них; металл; металлические и синтетические сетки и изготавливаемые из них элементы (ящики, блоки, тюфяки и др.); битумы; пленки; мешковины и изделия из нее и т. д.

К живым относят строительные материалы *растительного происхождения*, укрепляющие русла и борта водотоков, в том числе и своей корневой системой. В отличие от мертвых они предупреждают выветривание и разрушение частей русла, не подвергаясь им сами. Главное же свойство живых материалов — использование широкого круга экологических функций: например, растения, произрастающие около воды и в ней самой, поддерживают самоочищающую способность водотоков. Эти материалы и применяемые при строительстве с их помощью инженерно-биологические способы производства работ позволяют в дальнейшем использовать способность созданных живых конструкций к регенерации и

саморегулированию своей популяции, к усилению своего воздействия на поток и русло.

Недостаток живых материалов — необходимость использования в них живых растений. Если мертвые материалы (бетон, камень) начинают выполнять свои функции сразу же после завершения процесса строительства, то живые — только после завершения определенного периода их взросления. Другой недостаток живых материалов — не все их виды выдерживают высокие механические нагрузки. Поэтому иногда приходится использовать комбинированные строительные материалы, т. е. состоящие как из мертвых, так и из живых компонентов. Примером может служить каменная облицовка сильно размываемого откоса с незаделанными широкими швами, в которые затем высаживают древесно-кустарниковое крепление.

При креплении крутых склонов грунтовых откосов хорошо зарекомендовал себя способ смешения семян растений и кустарников, подбираемых с учетом требований их экологической совместимости с окружающим ландшафтом.

Для большинства таких объектов в наибольшей степени подходят те древесные растения, которые способны быстро прорасти, а затем энергично развиваться. В первую очередь к таким растениям относятся: различные породы ивовых кустарников; саженцы серебристого и черного тополя, а также бирючины. Целесообразно использовать уже отвердевшие одно- или двухлетние побеги древесных сортов растительности. Их подразделяют на:

- руты — неразветвляющиеся или малоразветвляющиеся побеги длиной не менее 120 см;
- тычки — побеги без боковых отводов веток диаметром 0,1 ... 0,5 см и длиной 25...60 см;
- ветки-побеги с отводами длиной не менее 50 см; колышки — прямые побеги диаметром не менее 3 см и длиной не менее 50 см;
- посадочные брусья — прямые без отводов главные побеги длиной не менее 1,5...2,5 м.

Живые ветви деревьев, руты и сучья повсеместно используют при возведении инженерно-биологических элементов природо-приближенных объектов.

Примеры применения местных строительных материалов. Выстилку из *ивовых прутьев* — рут (рис. 19) используют при креплении откосов русел природоприближенных водотоков. Сразу же после устройства этой выстилки она в состоянии выдержать касательное напряжение до 50 Н/м^2 . Внешне это крепление представляет собой ивовые маты, стянутые проволокой и

закрепленные на откосе с помощью кольев. После второго периода вегетации, т. е. примерно через 15 мес, такая выстилка уже сможет выдержать касательные напряжения до 150 Н/м^2 .

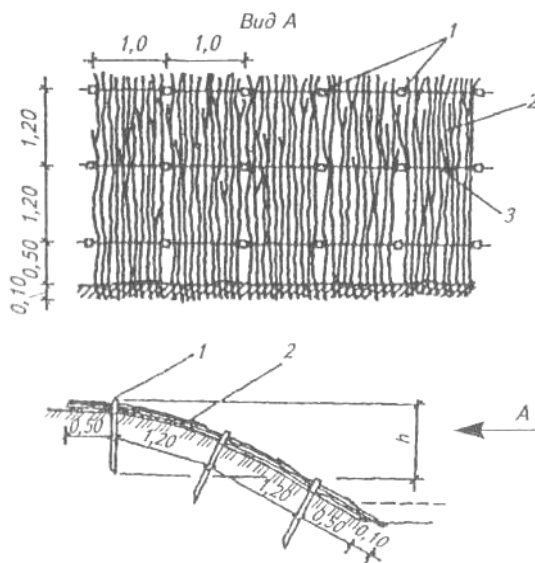


Рис. 19. Выстилка из ивовых прутьев – рут: 1 – колья, 2 – маты из ивовых прутьев (рут), 3 – проволока

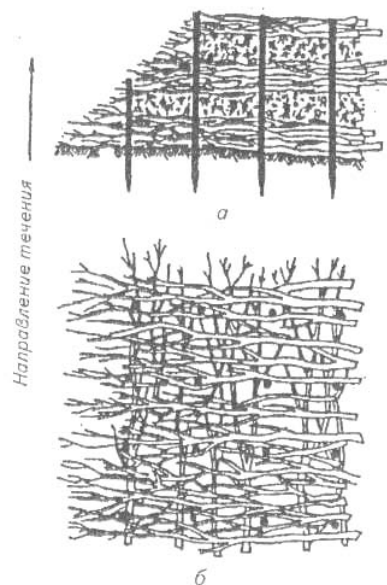


Рис. 20. Хворостяные клетки:
А – сечение, Б - план

Хворостяные клетки (рис. 20) — один из самых давно употребляемых в гидротехнике конструкций креплений из живых строительных материалов. Применяя хворостяные клетки можно предупредить оползание и подмыв откосов, защитить их поверхность от эрозии. Конструктивно они представляют собой слоеную конструкцию из камней и каменной мелочи, отсыпанных как слоями, так и в плетеные клетки из хвороста, закрепленные ивовыми кольями. Камни заполняют при этом все пространство клеток, а сам массив из них делают таким образом, чтобы он как бы восстанавливал прежнее очертание откосов водотока.

Каменную отсыпку с прорастающими кольями (рис. 21) по традиции применяют в качестве защитной одежды. Колья выполняют из древесных пород: ивняк или верба. Разрастаясь, пуская ростки и корни, колья со временем образуют переплетающиеся клетки с мощной анкерующей корневой системой, которая хорошо сопротивляется воздействию на крепление гидродинамических усилий со стороны потока. Это крепление сохраняет свою устойчивость даже при значительных осадках подстилающего его грунта.

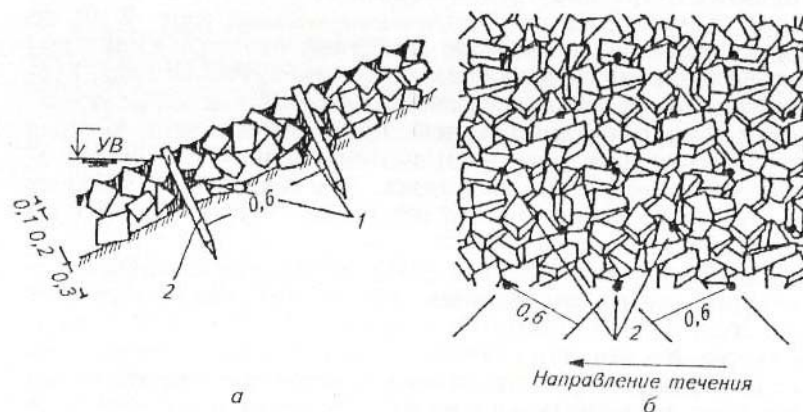


Рис. 21. Каменная отсыпка с прорастающими кольями (размеры в м):
1 – пустоты, заполненные глинисто-песчаной пастой, 2 – ивовые тычки
длиной 0,85 м, диаметром 0,05 м.

Гибкое каменное крепление (рис. 22) используют главным образом на горных водотоках, где в достаточных количествах имеется крупный постелистый камень. Эти камни укладывают в ряд в подножии откоса. В каждый из камней этого ряда сверху вделана металлическая петля.

Через петли всех камней ряда протягивают стальной трос, удерживающий их от выпадения в сторону. При подмыве одного из камней он дает осадку, но не вызывает разрушения всего крепления. Над этим каменным рядом на откос укладывают выстилку из ивовых прутьев, закрепленную к поверхности откоса с помощью тычков и оцинкованной проволоки.

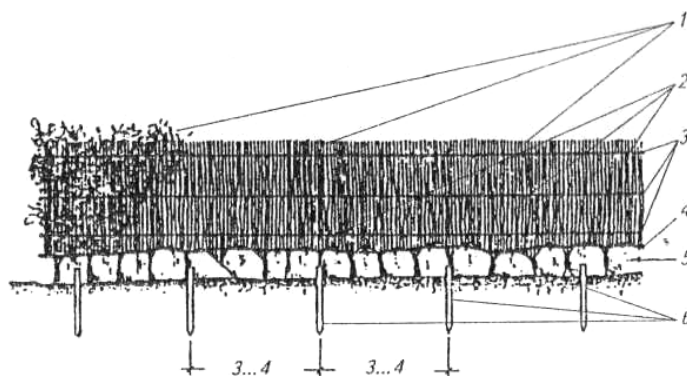


Рис. 22. Гибкое каменное крепление: 1- ивовая выстилка, 2 – колышки ($D = 5 \dots 7$ мм), 3 – оцинкованная проволока, 3 мм, 4 – стальной тросс диаметром 20 мм, 5 – камни в основании откоса, 6 - анкера

Для защиты береговой линии от размыва волнобоем, возникающим от проходящих по водотоку плавающих средств (судов, катеров, буксиров и т. д.), часто устраивают так называемые *живые продольные дамбы*. Для строительства такой природоприближенной конструкции используют колья из стволов и крупных веток местной древесной растительности. Образовавшийся забор из кольев обсыпают с двух сторон местным грунтом, создавая таким образом поперечное сечение дамбы.

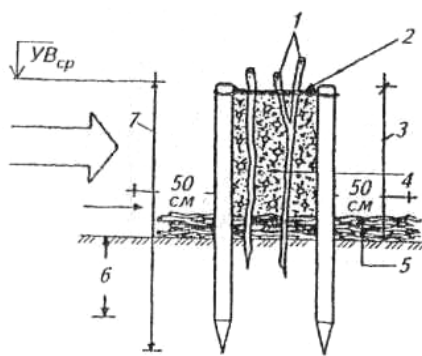


Рис. 23. Живая направляющая стенка: 1 – ивовые ветки, 2 – проволочная закрутка, 3 – высота стенки, 4 – утрамбованный хворост, 5 – тюфяк против размыва, 6 – глубина забивки, 7 – длина кольев

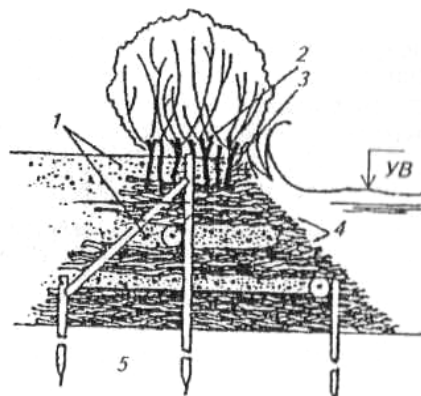


Рис. 24. Живая тюфячная кладка: 1 – материал заполнения, 2 – ивовые тычки, 3 – фашина, 4 – фашинная кладка, 5 – подкос

Живые направляющие стенки (рис. 23) строят в зонах, где водотоки имеют легкоразмываемые откосы из мелкопесчаных грунтов. Для обеспечения устойчивости стенки ограничивающие ее колья попарно стягивают проволочными закрутками. Гашение энергии потока достигается в этом сооружении за счет того, что струи воды и волны, попадая в наполненное ветками внутреннее пространство стенки, теряют свою скорость, раздробливаются на еще более мелкие струйки и разрушаются.

Живая тюфячная кладка (рис. 24) — одна из самых старых живых конструкций. Результаты наблюдений, проведенных с подобными конструкциями, убедительно показали, что последние довольно быстро становятся местом обитания богатого сообщества микроорганизмов, одноклеточных водорослей, грибов, улучшающих качество окружающей воды. В тех случаях, когда на месте строительства нет камня, но есть песчаные и глинистые грунты, в теле тюфячной кладки предусматривают устройство одной или двух бесконечных продольных фашин, прошнуровывая их размещение в составе материала заполнителя.

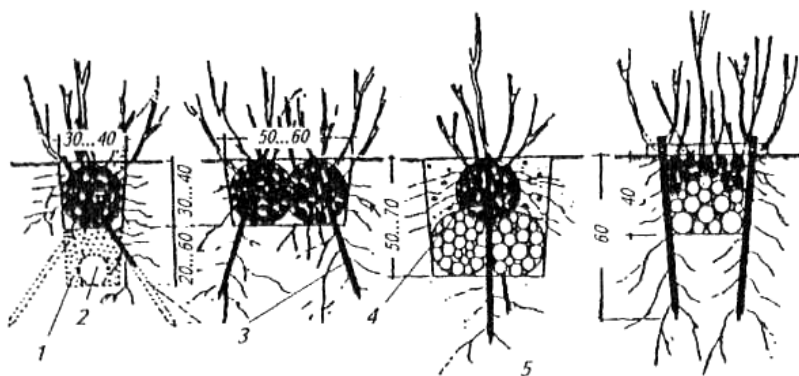


Рис. 25. Живые дренажи: 1 – обратный фильтр, 2 – труба, 3 – прорастающие колышки, 4 – живая фашина, 5 – мертвая фашина.

Решетчатые конструкции с растительной арматурой используют для устойчивости откосов. Конструктивно они представляют собой обычные деревянные решетки, которые укладывают на откосе и прикрепляют к поверхности последнего анкерами или дополнительной пригрузкой. Пространство клеток решетки обильно засаживают проросшими тычками ивы и других пород древесной растительности, хорошо приживающейся в подобных условиях. При пологих склонах межклеточные пространства можно засеивать семенами многолетних трав.

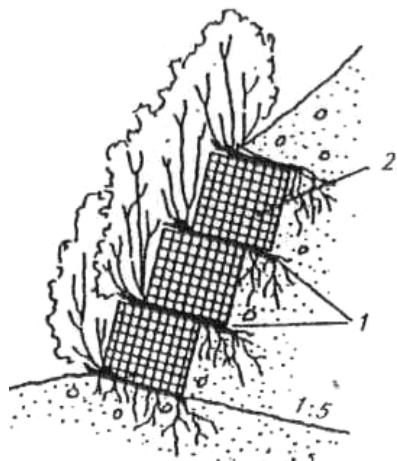


Рис. 26. Озелененные габионы: 1 – проросшие ветки, 2 – габион

В гидротехнической практике природо-приближенного обустройства водотоков многих стран мира нашли широкое применение конструкции креплений озелененных габионов. Одно из основных преимуществ этих конструкций — высокая технологичность производства работ по их устройству. Конструктивно эти габионы представляют собой решетчатые ящики, которые уложены слоями друг на друга и наполнены каменным и растительным материалом. Чаще всего эти ящики изготавливают прямо на месте строительства из различных сеток (оцинкованных типа рабицы, синтетических, сткловолоконистых и др.), укладывают слой за слоем в конструкцию крепления с одновременным заполнением их щебнем с проросшими тычками древесной растительности. Живые дренажи более предпочтительны, чем обычные дренажи. Помимо своего основного назначения — отвода грунтовых и просочившихся в грунт поверхностных вод они выполняют еще и дополнительную функцию — представляют собой также и место зарождения сообществ микроорганизмов, очищающих воду.

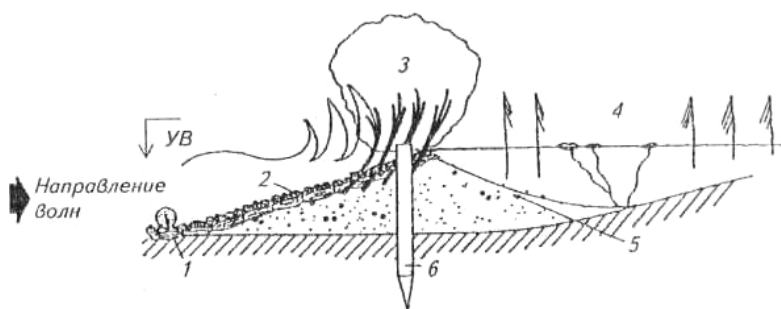


Рис. 27. Живая продольная дамба: 1 – упорная фашина, 2 – фашинные маты, 3 – ивняк, 4 – биотоп, 5 – насыпь, 6 – ряд из кольев

Конструктивно живые дренажи представляют собой траншеи 30 x 30 или 40 x 40 см, внутрь которых укладывают фашины, связанные проволокой из живого материала (проросшие прутья и ветки). Эти фашины крепят к дну и стенкам траншей живыми кольями. Прорастая и создавая свою корневую систему, эти прутья армируют укрепление, продлевая срок службы дренажа.

Задания для самостоятельного выполнения

Задача 1

Рассчитать устойчивость инженерно-биологического крепления откоса (по схеме), если i – уклон дна реки, равен 0,03; b – ширина русла водотока по дну, 10 м; h – глубина воды при максимальном расходе, 1 м; m – заложение откоса, 3.

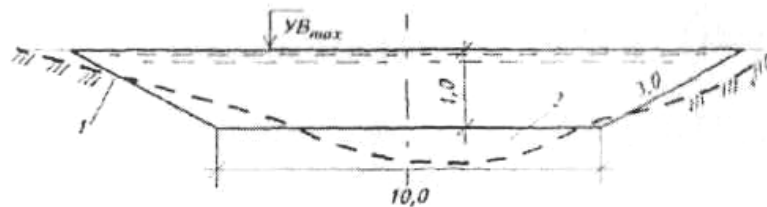


Рис. 28 Схема к расчету и подбору крепления откоса (м): 1 – поперечное сечение естественного русла водотока, 2 – схематизированное поперечное сечение русла

Методика решения

1. Площадь живого сечения:

$$W = (b + 2mh) \cdot h;$$

2. Длина смоченного периметра:

$$\chi = b + 2h\sqrt{1+m^2} \quad (\text{Нм}^2);$$

3. Гидравлический радиус:

$$R = W / \chi;$$

4. Определить влекущую силу на основание откоса S :

b – ширина русла водотока по дну, м;

h – глубина воды при максимальном расходе, м;

m – заложение откоса.

5. Определить нагрузку от текущей воды:

$$S = \rho \cdot g \cdot R \cdot i;$$

ρ – плотность воды, 1000 кг/м³;

g – ускорение свободного падения, 9,8 м/с²;

R – гидравлический радиус потока;

i – уклон дна реки.

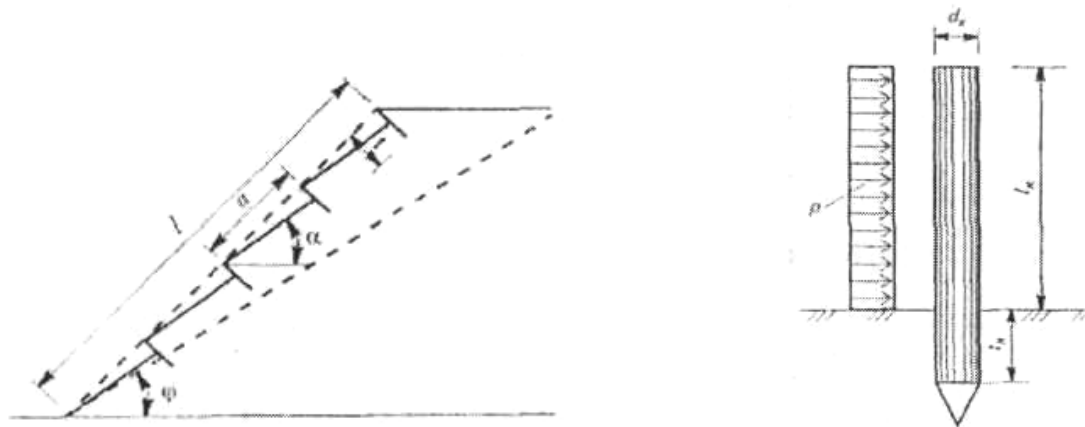


Рис. 29. Расчетная схема сухого откоса с живым креплением и кольцевым креплением: α – угол наклона откоса, φ – угол внутреннего трения

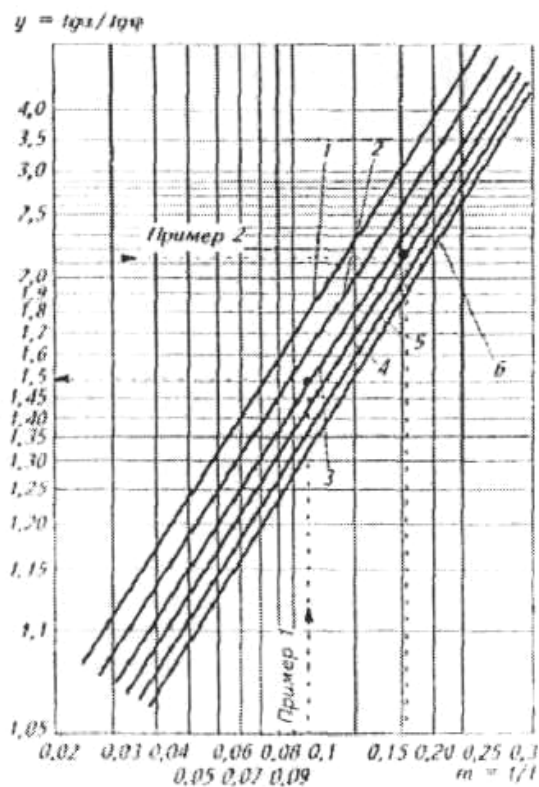
Задача 2

Оценить предельный угол крутизны откоса, покрытого живым креплением, если: угол внутреннего трения грунта, из которого отсыпан массив φ , составляет 30° ($\text{tg } \varphi = 0.577$); глубина закладки живого крепления (проросших ивовых прутьев) 1м (t); длина поверхности откоса 9м (l); шаг закладки $a = 1,5\text{м}$.

Методика решения

1. Находим относительное значение $m=t/l$;
2. По графику находим $y = \text{tg } \alpha / \text{tg } \varphi$; откуда определяем угол α .

График для определения устойчивости укрепленного сухого откоса: 1...6 – глубины закладки соответственно 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 м.



Задача 3

Оценить необходимую глубину закладки крепления из проросших ивовых прутьев, если: высота кольев $l_n = 1,6$ м; диаметр кольев $d = 0,14$ м; боковая нагрузка $P = 1,8$ кН/м²; трение на боковой поверхности $R = 20$ кН/м²; допускаемые напряжения для древесины $\tau_{\text{доп}} = 1$ кН/м²; коэффициент запаса для древесины $k = 1,25$, A – выдерживающая нагрузка, 3 кН.

Методика решения

1. Изгибающий момент силы для отдельного кола, Н · м:

$$M = P \cdot l_n^2 / 2;$$

2. Момент сопротивления, м³:

$$W = 0,1 \cdot d^3;$$

3. Напряжение в самом опасном сечении:

$$\tau = M / W;$$

4. Глубина необходимой забивки кола: $t_k = F / P$;

P – периметр кола, м² ($P = \pi \cdot R$);

Если $E < E_{\text{доп}}$ – выполняется

$$F = A \cdot k / R;$$

F – площадь боковой поверхности кола, м²;

A – выдерживающая нагрузка, кН.

Контрольные вопросы

1. Назовите материалы, относящиеся к живым и неживым, используемым как биологическое укрепление откосов.
2. Какие древесные растения рекомендуется использовать для укрепления откосов?
3. Расскажите основные виды биологических типов укрепления откосов.

Список рекомендуемой литературы

Основная

1. Борьба с водной эрозией на линейной части трубопроводов. Инструкция ОАО «ГАЗПРОМ», Москва 1998.
2. Автомобильные дороги. Защита откосов автомобильных дорог от размыва. РГК Росавтодор, Москва 1992.
3. Попов М.А., Румянцев И.С. Природоохранные сооружения. М.: КолосС, 2005. 520 с.
4. Инженерная защита поверхностных вод от промышленных стоков: учеб. Пособие / Д.А. Кривошеин [и др.]; под ред. Л.А. Савина. М.: Высшая школа, 2003. 344 с.: ил.
5. Проект рекомендуемого состава инвентаризации по расчету платы за неорганизованный сброс загрязняющих веществ с территории: [утвержден Управлением по технологическому и экологическому надзору Ростехнадзора по УР]. Ижевск, 2008. 10 с.
6. Канализация. Наружные сети и сооружения. Строительные нормы и правила: СНИП 2.04.03-85. – 1986. – Введ. 1986-01-01. М.: Стройиздат, 1986. 72 с.
7. Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами. – 1991. (<http://www.garant.ru>).

Дополнительная

1. Добров Э. М. Механика грунтов: Учебник для вузов. М.: Академия, 2008. 272 с.
2. Глотов Н.М., Леонычев А.В., Рогаткина Ж.Е., Соловьёв Г.П. Основания и фундаменты транспортных сооружений. М.: Транспорт, 1996. 286с.
3. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты. Л.: Стройиздат, 1990. 414с.
4. Маслов Н.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов. М.: Высшая школа, 1982. 182 с.
5. Цытович Н.А. Механика грунтов. М.: Высшая школа, 1983. 272 с.

Нормативно-правовая

1. СНиП 2.06.15-85 Инженерная защита территории от затопления и подтопления.
2. СНИП 22-02-2003 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения
3. СНИП 33-01-2003 Гидротехнические сооружения.
4. СНИП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия.
5. СП 33-101-2003 Определение основных расчетных гидрологических характеристик.

6. СНИП 2.05.03-84* Мосты и трубы.
7. СНИП 2.06.07-87 Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения.
8. СНИП 2.06.15-85 Инженерная защита территории от затопления и подтопления.
9. СНИП II-7-81* Строительство в сейсмических районах.
10. ГОСТ 19185-73 Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения.
11. ГОСТ 26775-97 Габариты подмостовые судоходных пролетов мостов на внутренних водных путях.
12. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Санитарные правила и нормы: СанПиН 2.1.5.980-00. – 2000. – Введ. 2001-01-01. М.: Изд-во стандартов, 2001. 108 с.

Периодические издания

1. Журнал «Вода и экология: проблемы и решения»
2. Журнал «Экология и промышленность России»
3. Журнал «Экология и Гигиена воды»
4. Журнал «Экология производства» <http://www.ecoindustry.ru/>
5. «Вода: химия и экология» всероссийский научно-практический журнал

Интернет-ресурсы

1. <http://www.ecoindustry.ru/>
2. <http://watchemec.ru/>
3. Гарант (www.garant.ru)
4. Ошибка! Недопустимый объект гиперссылки. (www.consultant.ru).

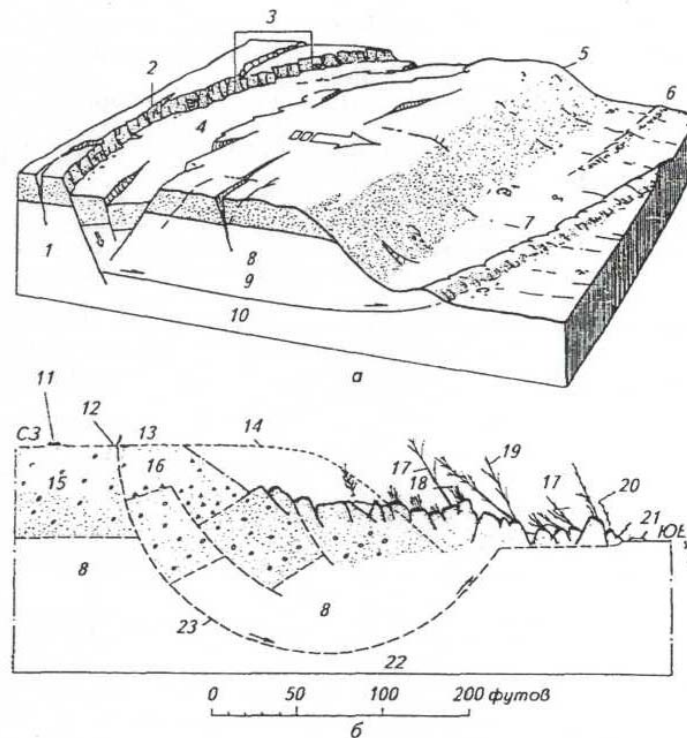
Электронно-библиотечные системы (ЭБС)

1. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" <http://window.edu.ru/>
2. "Русская виртуальная библиотека" www.rvb.ru
3. "Bookz.ru" - электронная библиотека www.Bookz.ru
4. Ошибка! Недопустимый объект гиперссылки. www.iqlib.ru
5. ЭБС «КнигаФонд» <http://www.knigafund.ru/>

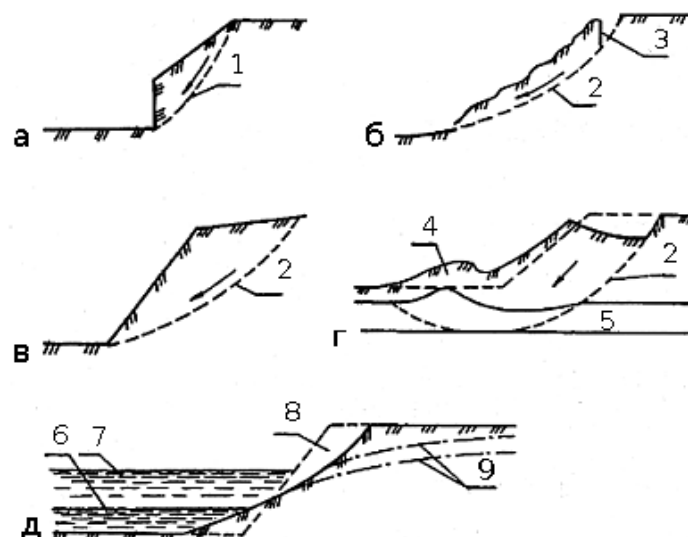
Параметры устойчивости откосов

Параметр	Песок	Супесь	Суглинок	Глина
Угол естественного откоса при естественной влажности, град.	25...30	30...40	40...50	40...45
Содержание частиц, %				
глинистых	До 5	До 12	12...33	Более 33
песчаных	Более 80	Более 50	-	-
Оптимальная влажность уплотнения, %	8...12	9...15	12...20	19...23

Наименования грунтов	Крутизна откосов (отношение его высоты к заложению) при глубине выемки, м, не более		
	1,5	3	5
Насыпной неуплотненный	1:0,67	1:1	1:1,25
Песчаный и гравийный	1:0,5	1:1	1:1
Супесь	1:0,25	1:0,67	1:0,85
Суглинок	1:0	1:0,5	1:0,75
Глина	1:0	1:0,25	1:0,5
Лессы и лессовидные	1:0	1:0,5	1:0,5

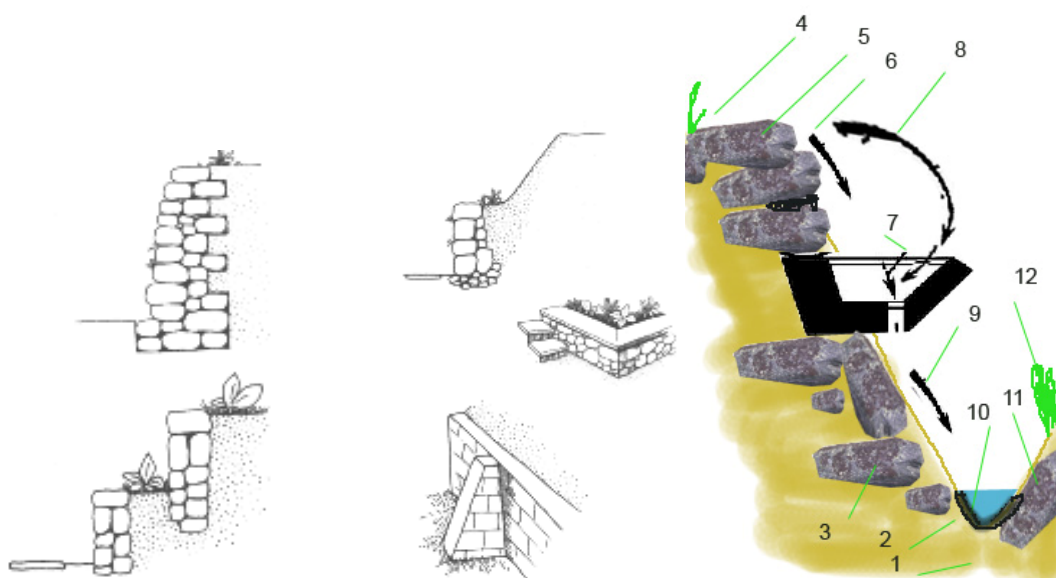


Оползни трансляционный (а) и вращательный (б) на примере местоположения ж/д путей: 1 – сильно нарушенная глина; 2 – основной уступ отрыва; 3 – голова оползня; 4 – гребень; 5 – бровка уступа; 6 – язык оползня; 7 – вал выдавливания; 8 – глубина бутлегеровой впадины; 9 – жесткая глина; 10 – чувствительная глина; 11 – ж/д пути; 12 – место возобновленного движения; 13 – восстановленная дорога; 14 – предполагаемая линия восстановления уступа; 15 – наносы; 16 – засыпка после землетрясения; 17 – береза; 18 – ольха; 19 – американский тополь; 20 – отклонение в сторону и назад; 21 – ж/д магистраль; 22 – приблизительный уровень воды в водоеме; 23 – предполагаемая поверхность обрушения

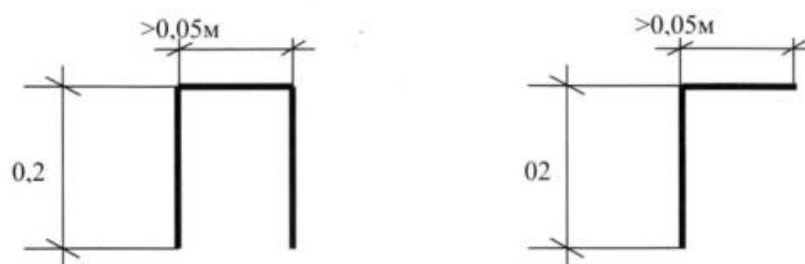


Характерные виды деформаций откосов: а — обрушение; б — сползание; в — оползень; г — оползень с выпором; д — оплывание; 1 — плоскость обрушения; 2 — плоскость скольжения; 3 — трещина растяжения; 4 — выпор грунта; 5 — слабый прослоек; 6,7—установившийся и первоначальный уровни воды; 8 — поверхность оплывания; 9 — кривые депрессии

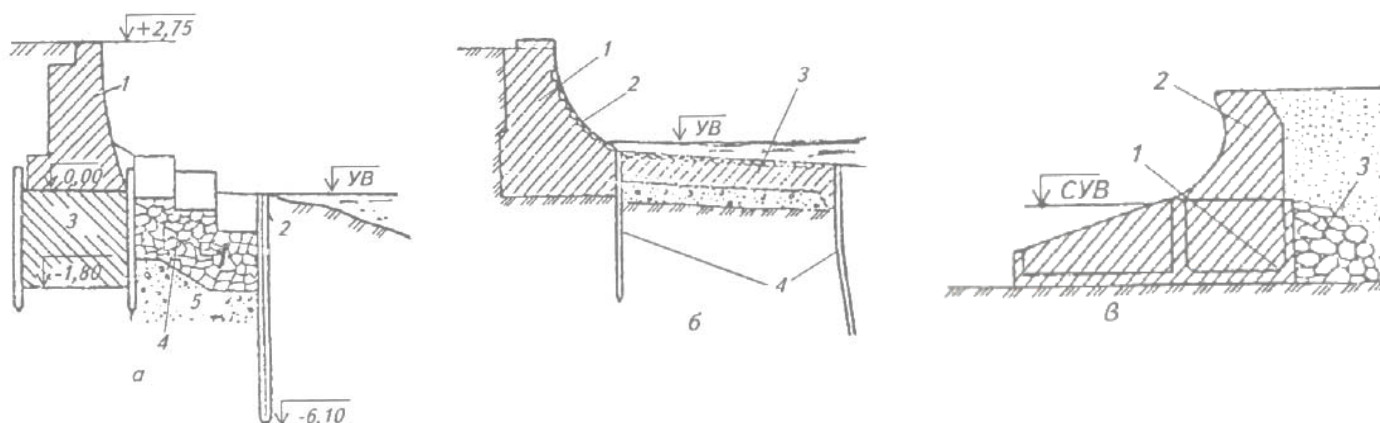
Типы и конструкции подпорных стен



Анкерное крепление



Противоэрозионная защита откосов

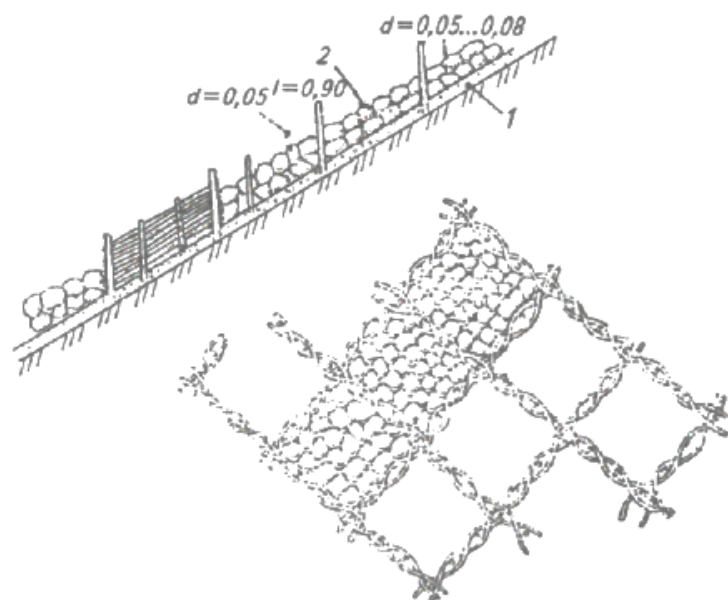


Типы волноотбойных стен:

а – из бетонных блоков: 1 – бетонный блок, 2 – свая, 3 – бетон, 4 – камень, 5 – галечник;

б – с бетонной рисбермой: 1 – бетонная стенка, 2 – каменная облицовка, 3 – бетонная рисберма, 4 – сваи;

в – с основанием из железобетонных коробов: 1 – железобетонный короб, 2 – бетон, 3 – камень.



Крепление плетневыми клетками с камнем: 1 – песчано-гравелистый слой (0,1 м); 2 – двойной слой камня (0,4 м)

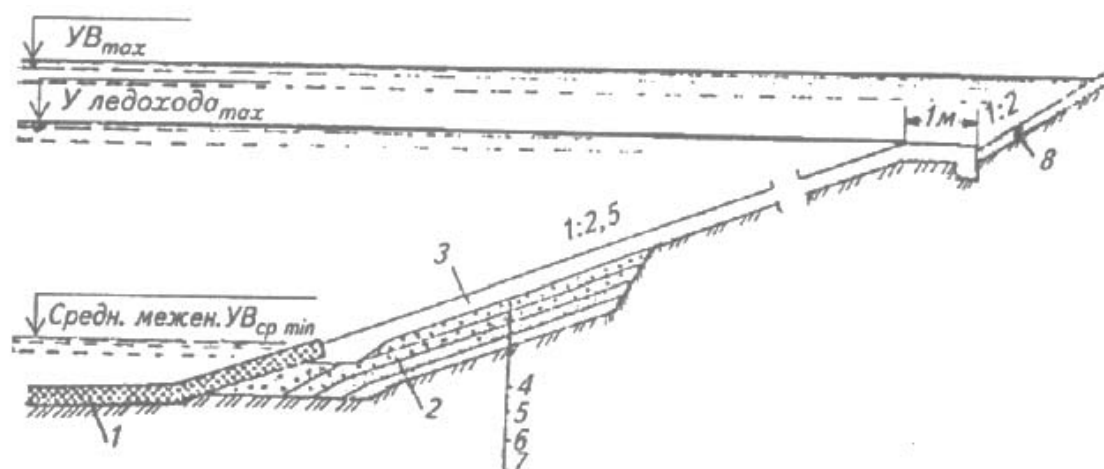
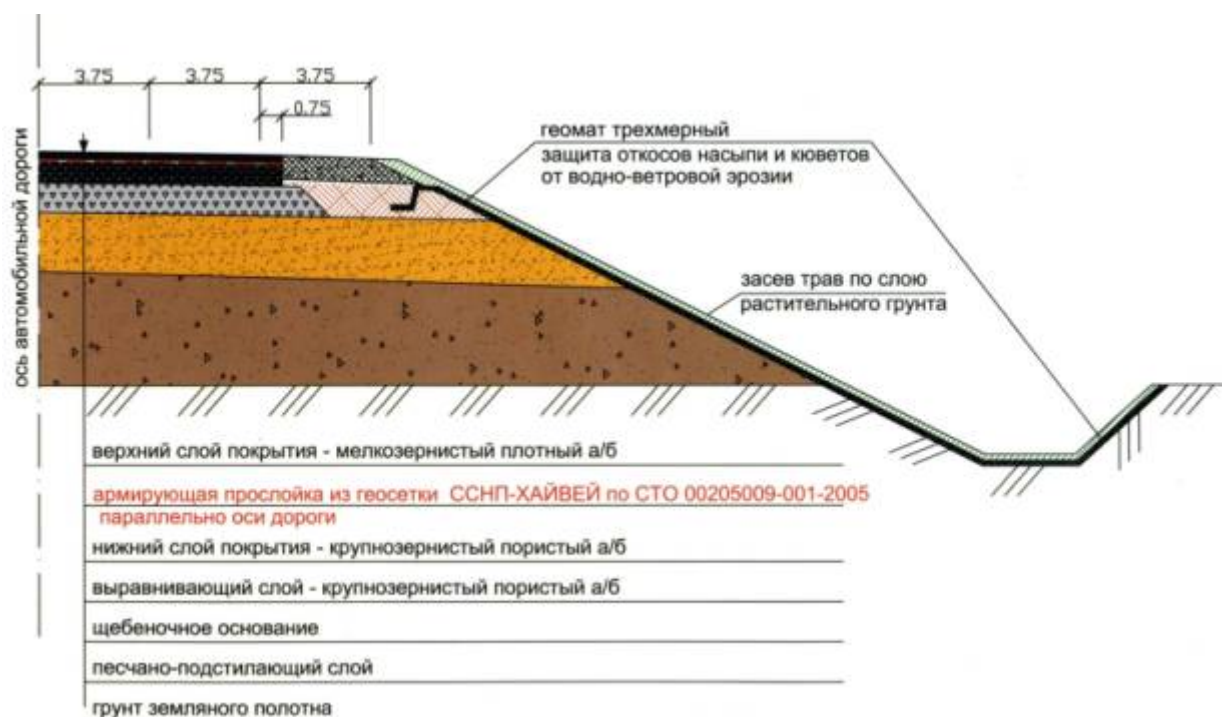
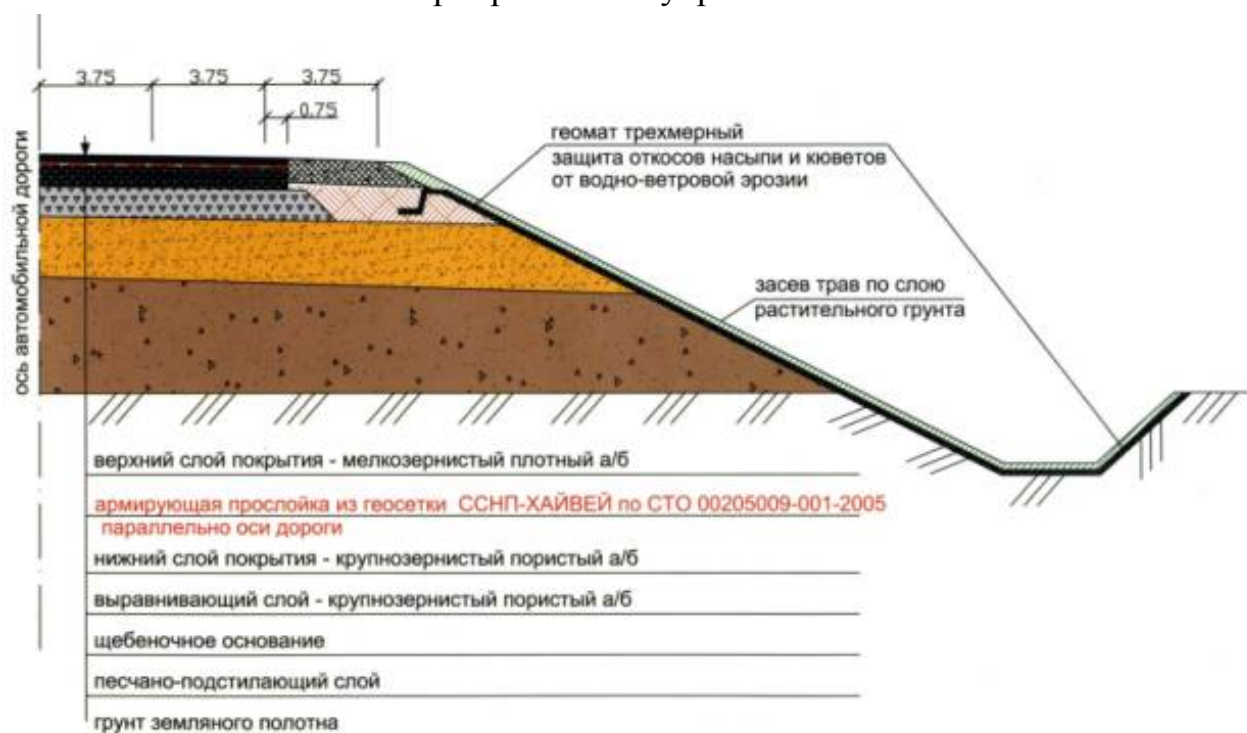
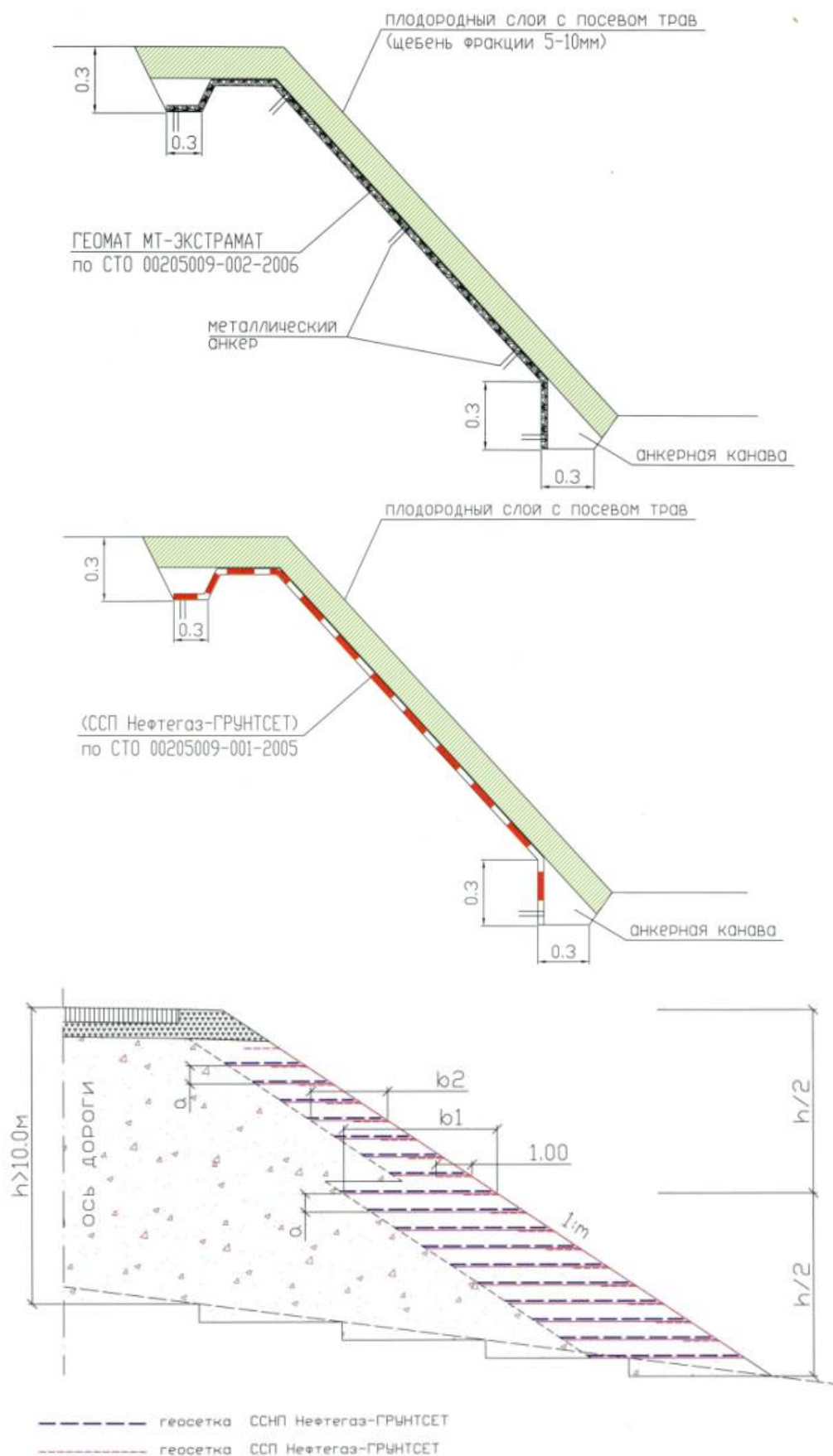


Схема крепления откоса грунтоасфальтом: 1 – хворостяной тюфяк; 2 – обратный фильтр; 3 – грунтоасфальт; 4, 5 – гравий; 6, 7 – песок; 8 – крепление откоса в зоне временного подтопления

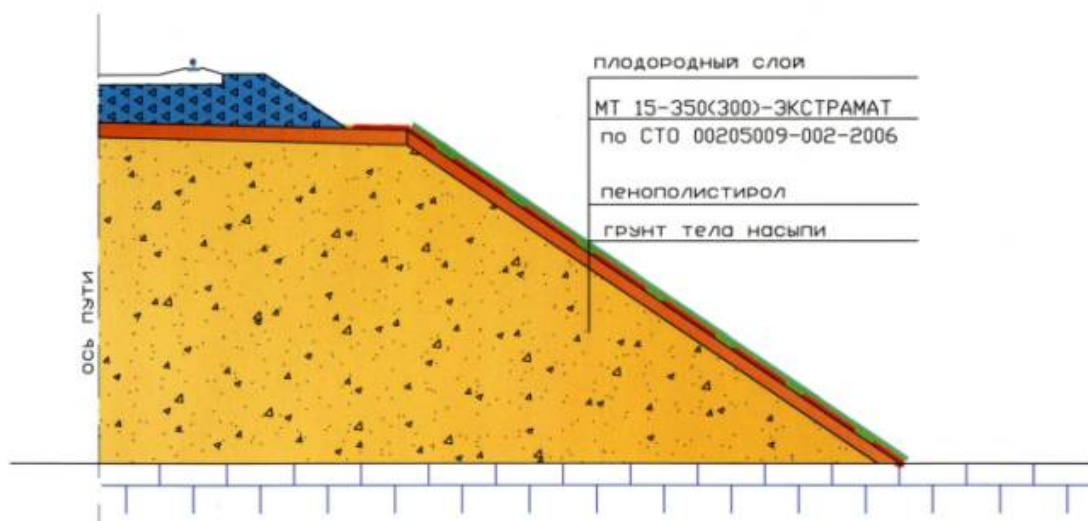
Комплекс мероприятий по укреплению откоса



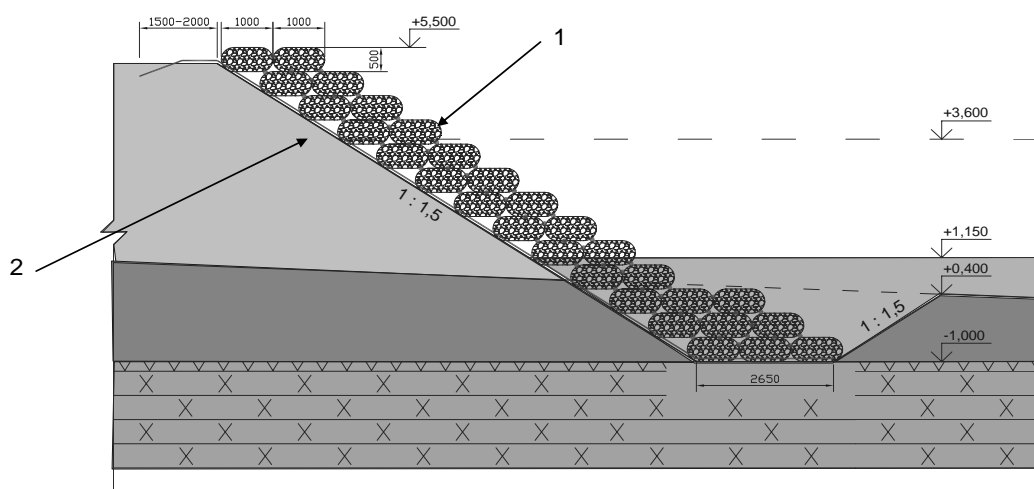
Повышение устойчивости откосов



Устройство защитного слоя из геоматов и георешеток



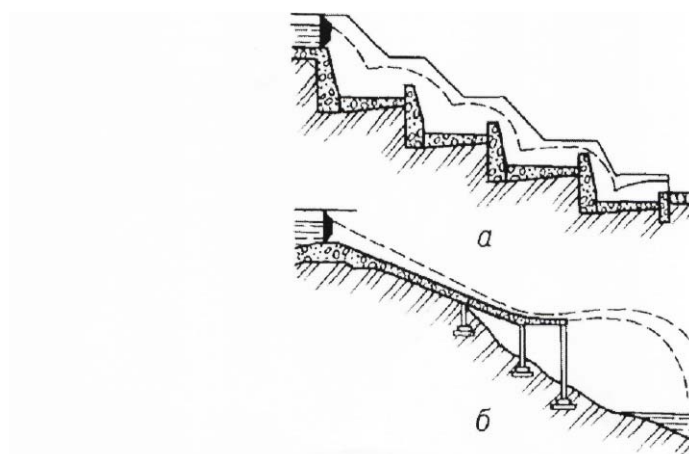
Элементы крепления георешетки к тросу. Скальная наброска с обратным фильтром в виде геотекстиля



Берегоукрепление из сетконов:

1 – сетконы, связанные между собой; 2 – геотекстиль

Сооружения организованного отвода поверхностного стока



Вершинные ГТС- а) перепад; б) консольный перепад (консоль)

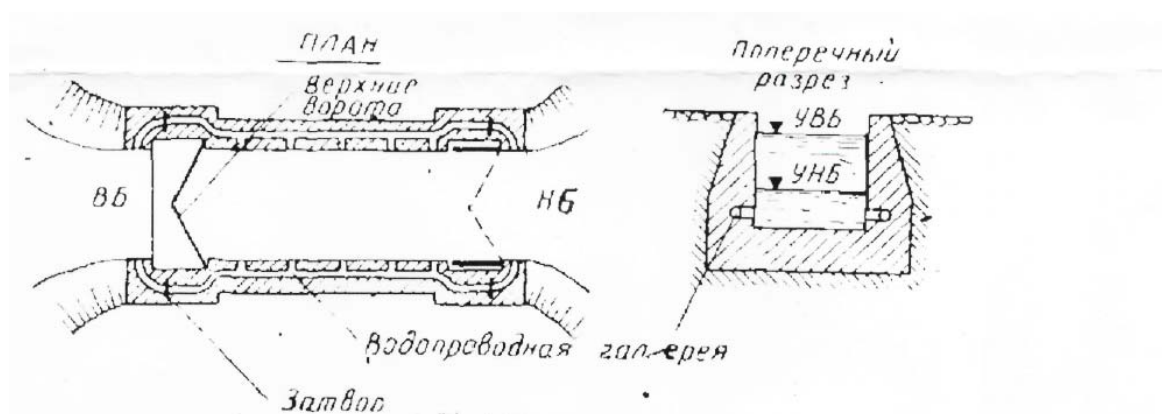


Рис. 76. Схема шлюза

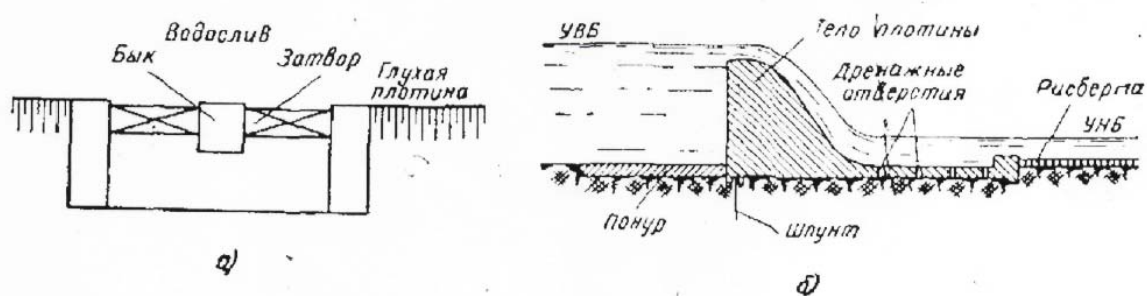
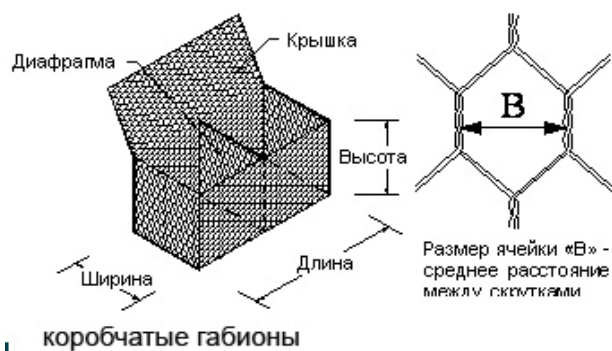
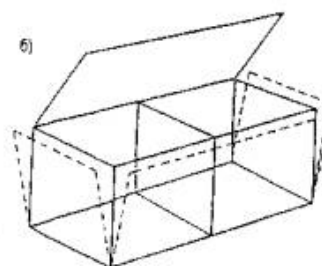
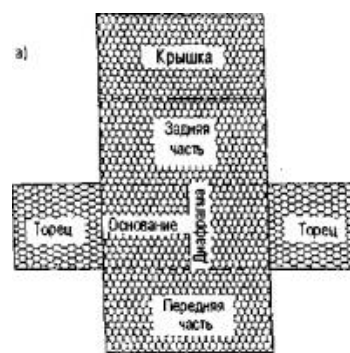
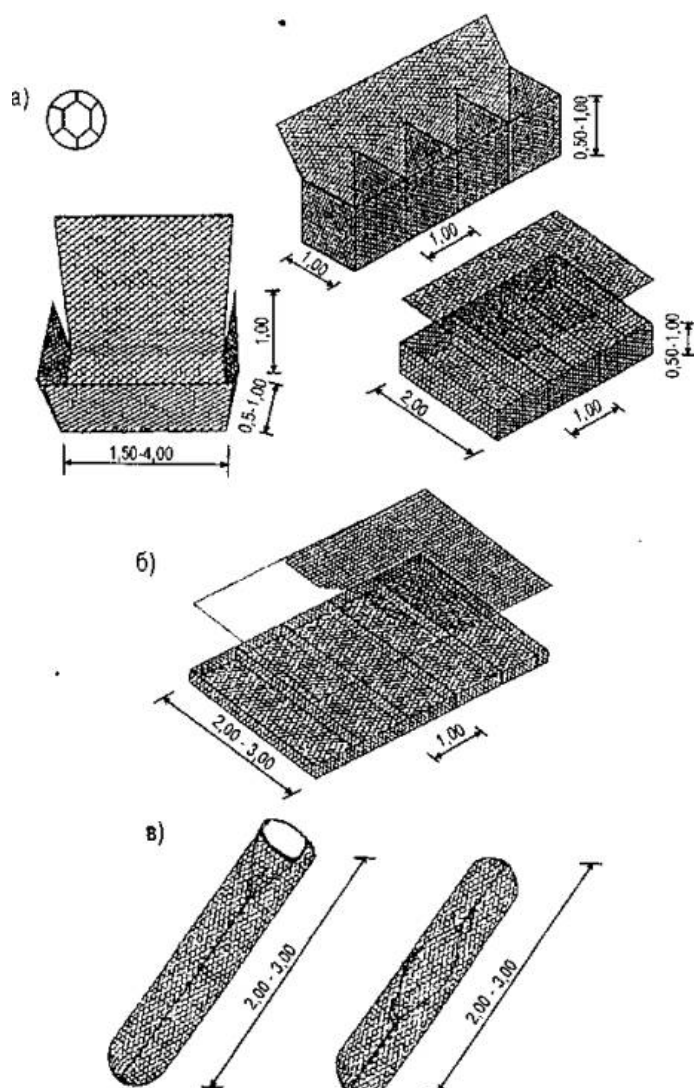


Рис. 78.
а) — схема водосливной части плотины; б) — элементы флютбета плотины

Габийонные конструкции

Типы арматурно-сетчатых каркасов:

- а - коробчатые;
- б - матрасно-тюфячные;
- в – цилиндрические



Сетчатая развертка коробчатого габийона с диафрагмой:

- а - до сборки; б - схема сборки

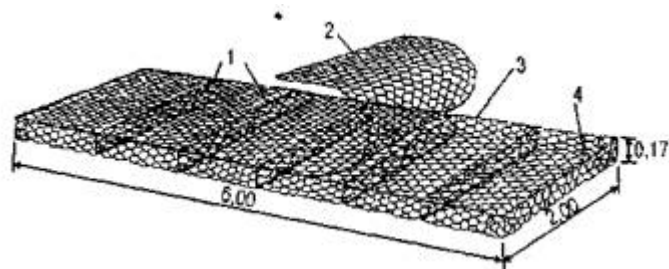
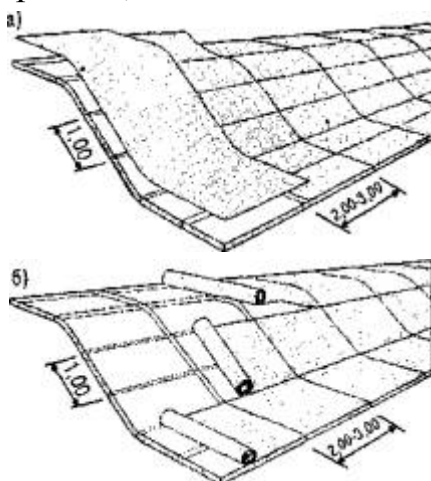


Схема матрасно-тюфячного арматурного каркаса и его элементов в сборке: 1 - диафрагма; 2 - крышка; 3 - боковая панель; 4 - торцевая панель



Схемы вариантов укладки сеток крышек матрасно-тюфячных габионов:
а - поперечная укладка; б - продольная укладка

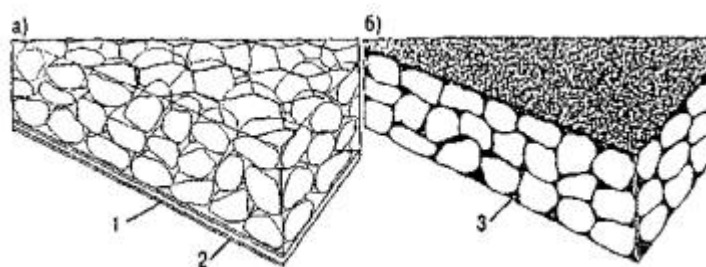
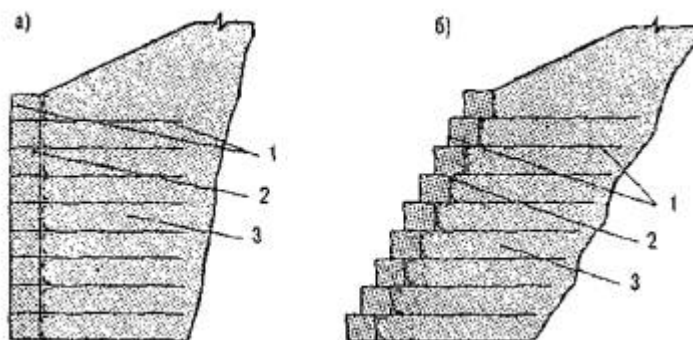


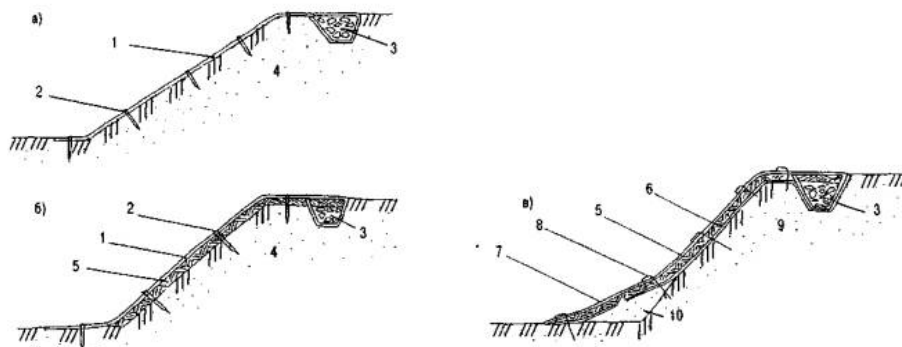
Рис. 7. Противофильтрационные и водонепроницаемые габионные строительные блоки:

а - с применением мембран; б - с применением битумной мастики; 1 - геотекстиль; 2 - водонепроницаемая мембрана; 3 - битумная мастика



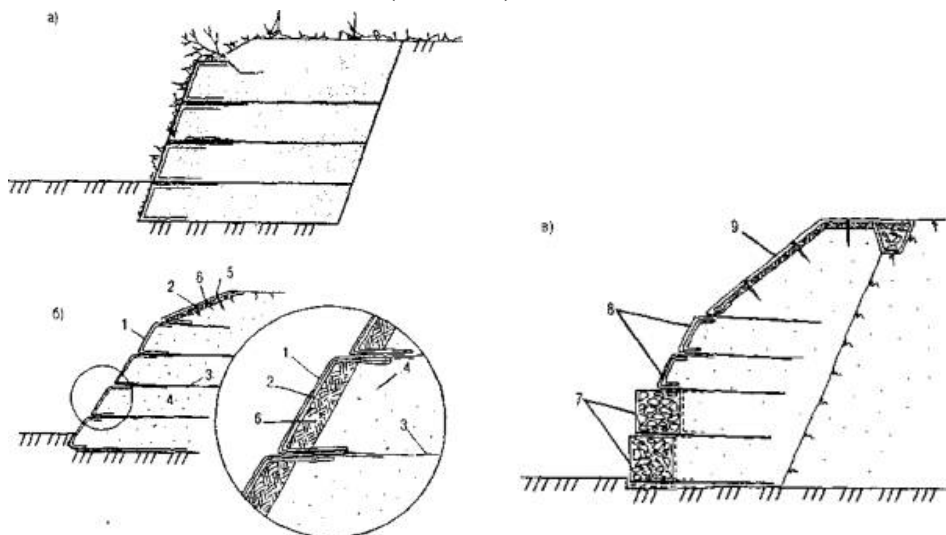
Конструкции системы Террамеш в виде стен:

а - вертикальных; б - наклонных; 1 - сетчатая армирующая панель; 2 - геотекстиль; 3 - грунт обратной засыпки



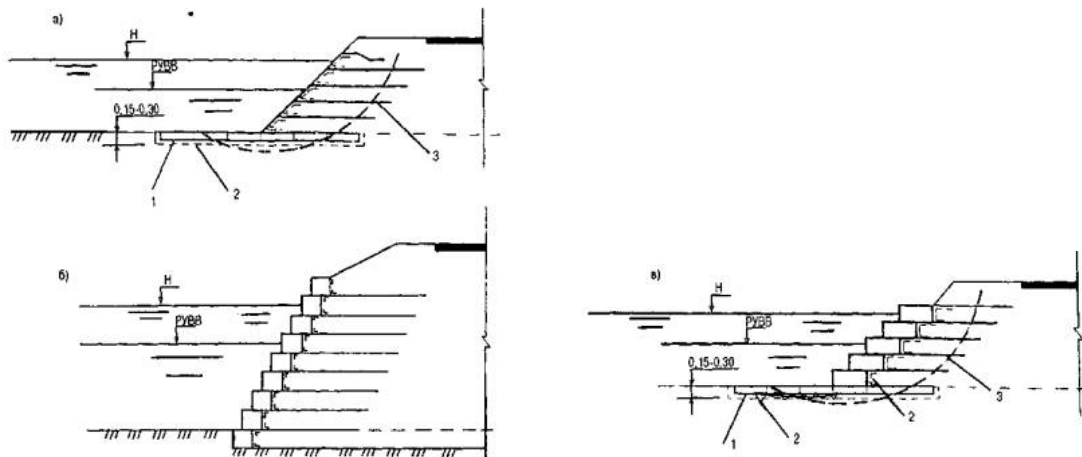
Схемы защиты откосов с помощью биоматов:

а - по растительному грунту, поверхность которого обработана гидропосевом; б - с укладкой растительного грунта; в - с укладкой двух слоев биоматов между слоями растительного грунта; 1 - биоматы; 2 - колышки; 3 - верховое крепление с дренажной системой; 4 - грунт откоса; 5 - растительный грунт; 6 - биоматы соломенные; 7 - кокосовые биоматы; 8 - металлические (деревянные) колышки; 9 - грунт откоса, обработанный гидропосевом; 10 - подсыпка откоса (склона)

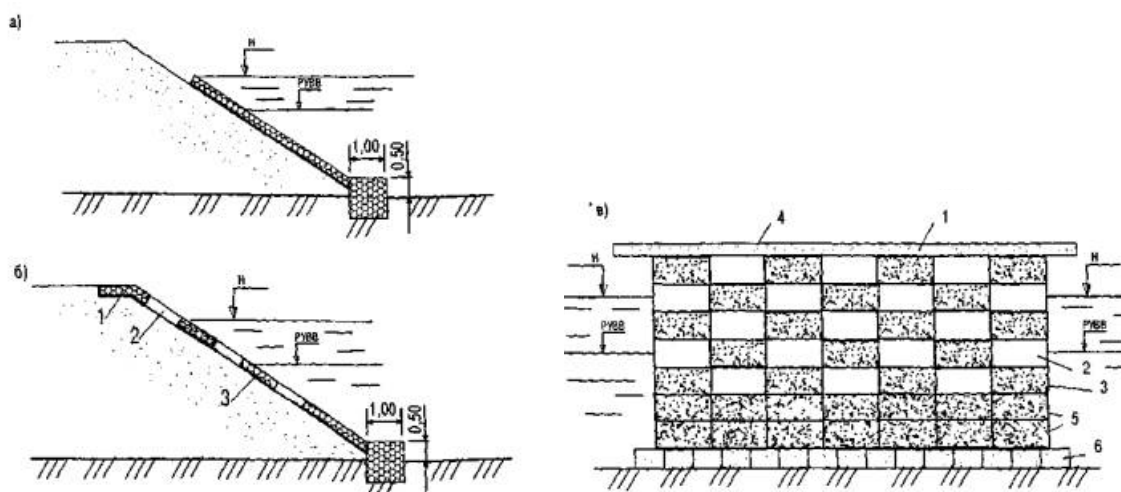


Схемы укрепления откосов и склонов:

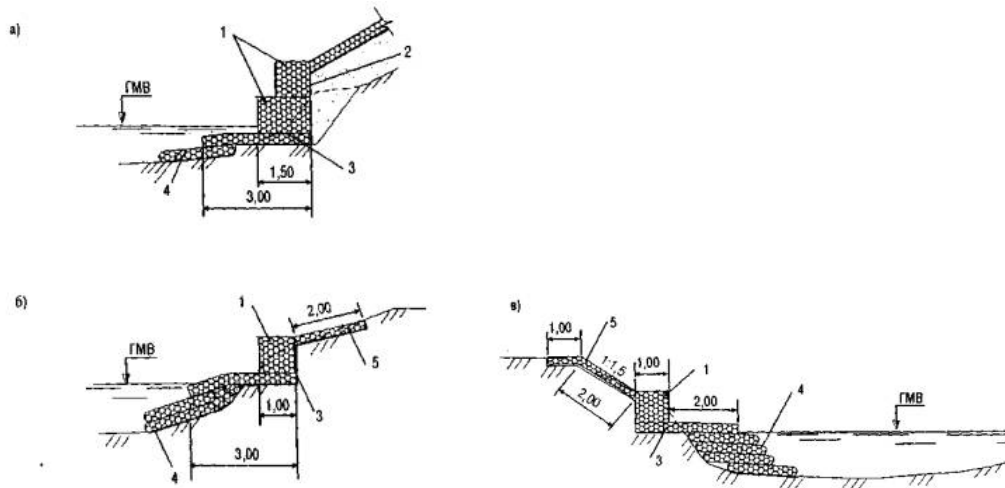
а - системой зеленый Террамеш; б - системой зеленый Террамеш с биоматами; в - комбинированная конструкция; 1 - лицевая грань системы зеленый Террамеш, выполненная из стальной сетки двойного кручения с гальфановым покрытием; 2 - кокосовые биоматы; 3 - армирующая панель; 4 - грунт засыпки, уплотненный до 1,6-1,7 т/м³; 5 - колышки; 6 - растительный грунт; 7 - система Террамеш; 8 - система зеленый Террамеш; 9 - защита откоса с помощью биоматов



Схемы укрепления подтопляемых откосов при отсутствии меженных вод:
а - система зеленый Террамеш; б - система Террамеш; в - система Террамеш на основании из габионов; 1 - матрасно-тюфячные габионы; 2 - геотекстиль; 3 - элемент нормирования

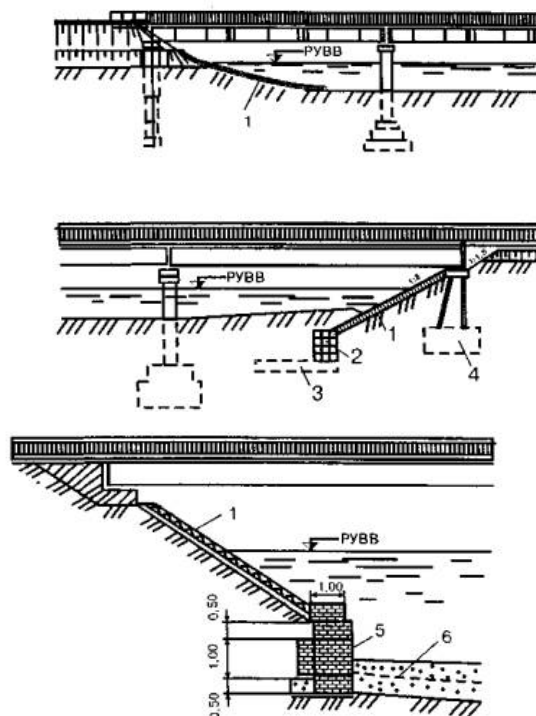


Схемы укрепления подтопляемых откосов матрасно-тюфячными габионами при отсутствии меженных вод и размывов у их подошвы:
а - сплошное; б - комбинированное в шахматном расположении; в - фасад; 1 - положение габиона в верхней части откоса; 2 - ячейки, заполняемые другим материалом; 3 - габионы; 4 - бровка земельного полотна; 5 - два нижних ряда сплошного укрепления габионами; 6 - упорные коробчатые габионы

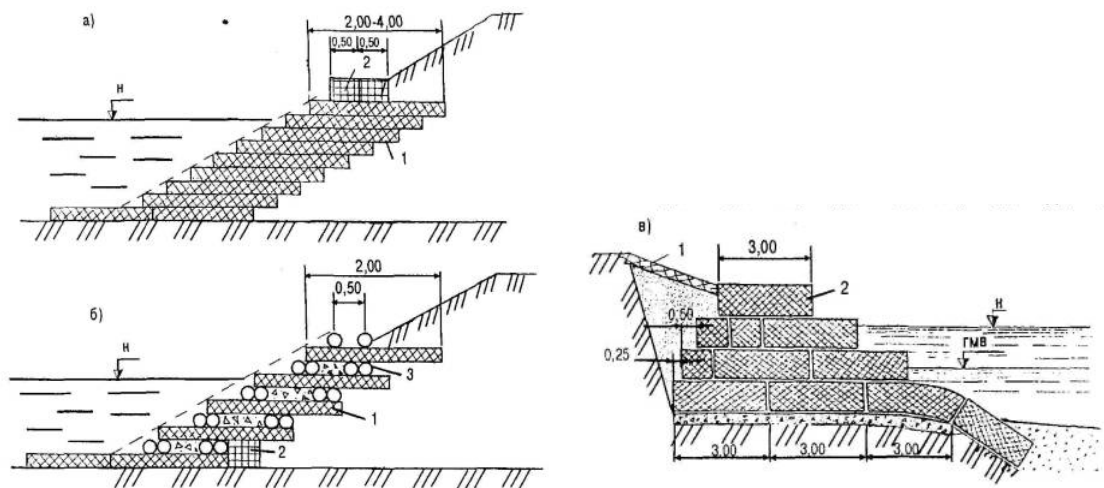


Схемы возможных габионных укреплений для защиты нижней части подтопляемых откосов от подмыва при наличии меженных вод с применением матрасных, коробчатых и цилиндрических габионов:

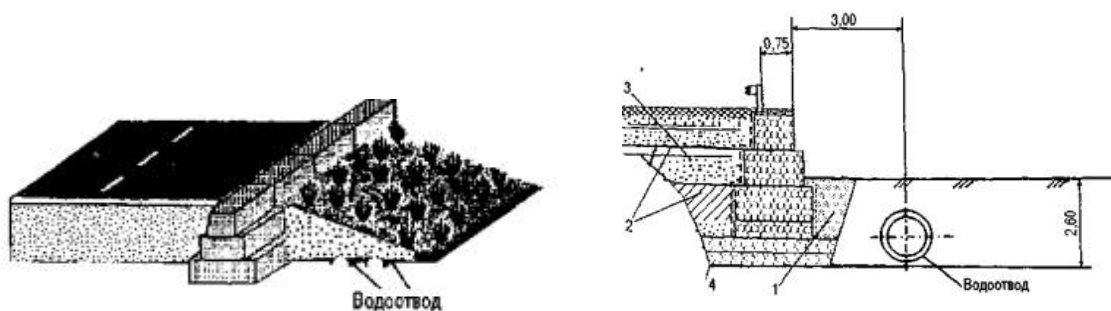
1 - коробчатые габионы ($1,50 \times 1 \times 1$ м); 2 - геотекстиль; 3 - матрасы ($h = 0,30$ м); 4 - цилиндрические габионы ($L = 2,00$ м; $\varnothing = 0,30$ м); 5 - матрасы ($h = 0,23$ м)



Схемы возможных конструктивных решений по укреплению габионами подмостовых конусов при отсутствии меженных вод и подтопления в период строительства: 1 - матрасы; 2 - коробчатый габион; 3 - вариант защиты упора матрасами; 4 - опора мелкого заложения; 5 - упорно-защитная конструкция из коробчатых габионов; 6 - линия размыва

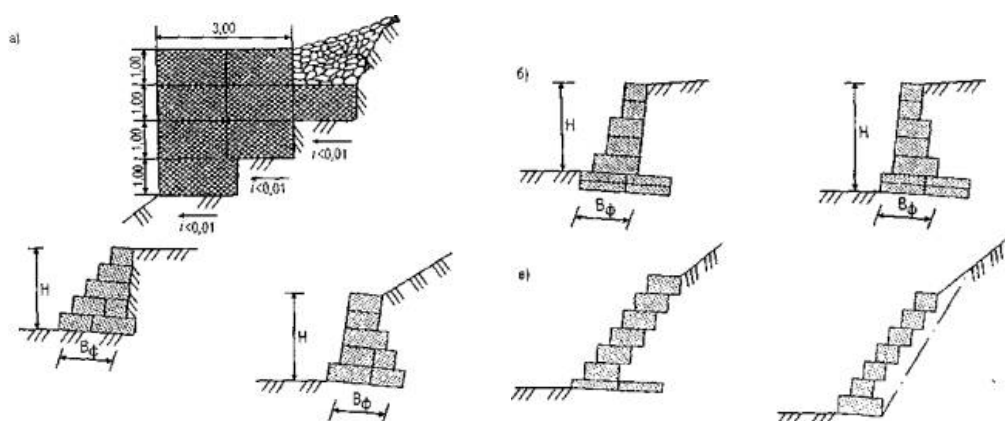


Схемы габионных укреплений вдольбереговых сооружений:
 а - с применением матрасов; б, в - комбинированные откосно-
 ступенчатые; 1 - облицовка матрасами; 2 - линия размыва



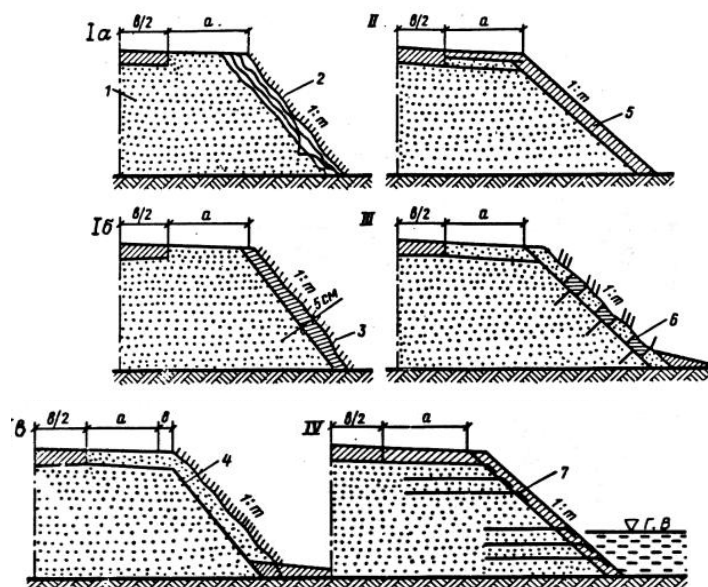
Схемы возможных устройств габионных конструкций в местах близкого
 расположения подземных коммуникаций:

1 - засыпка грунтом; 2 - армирующие элементы; 3 - грунт земляного
 полотна; 4 – геотекстиль



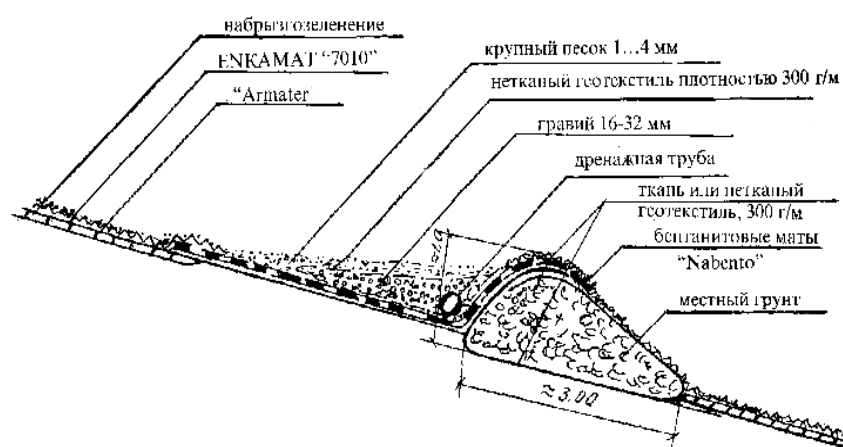
Схемы основных разновидностей габионных стен:

а - массивно-объемные; б - полумассивные; в - тонкостенные

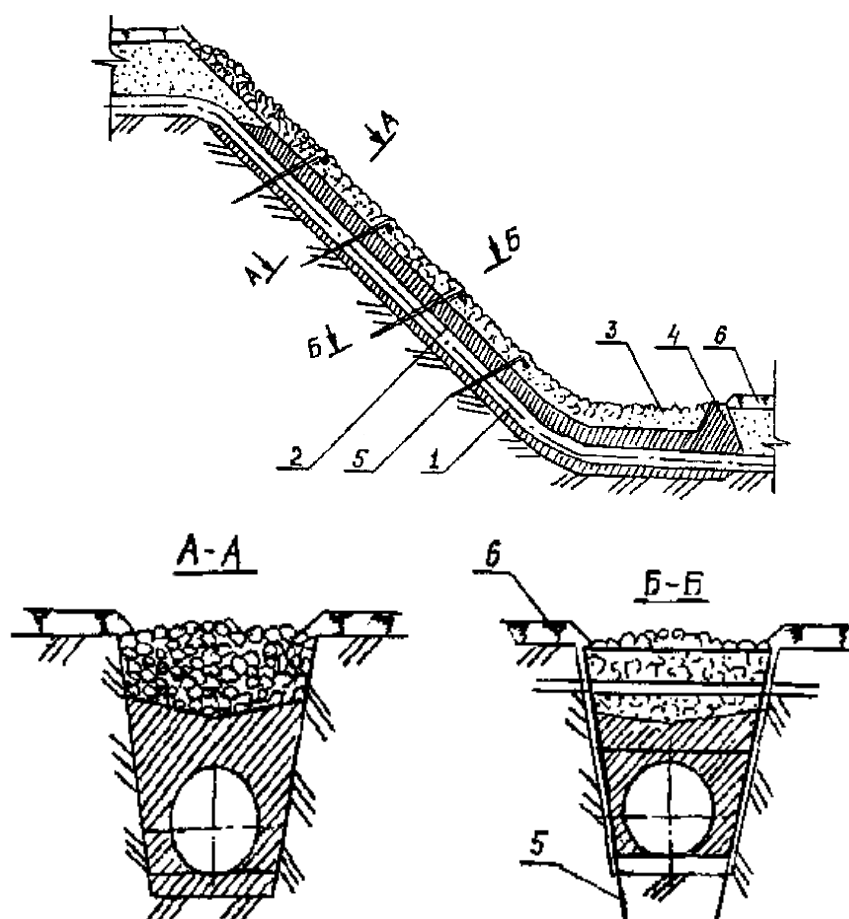


Конструкции укрепления откосов: I а - гидропосевом, трав по грунту откоса; I б - то же, по торфопесчаной смеси; I в - то же, по дорниту; II - грунтом, обработанным вяжущими; III - решетчатыми сборными конструкциями; IV - грунтом, обработанным вяжущими и армированием откоса дорнитом; 1 - грунт откоса; 2 - гидропосев трав по растительному грунту; 3 - гидропосев трав по торфопесчаной смеси; 4 - гидропосев по дорниту; 5 - укрепленные грунты; 6 - сборные решетчатые конструкции; 7 - дорнит.

Борьба с водной эрозией на линейных объектах



Противоэрозионное покрытие склона с водоотводящими валами



Траншейный дренаж на продольном склоне:

- 1 - трубопровод; 2 - обсыпка из гидрофобизированного грунта;
 3 - дренажная каменная наброска; 4 - перемычка из гидрофобизированного грунта;
 5 - опорные водопроницаемые щиты; 6 - слой плодородного грунта с семенами трав

Оползание грунтов на примере набережной Ижевского пруда



Список экзаменационных вопросов

1. Современные экологические проблемы разрушения почв в Удмуртии в связи с развитием оползней и эрозионных процессов.
2. Понятие устойчивости грунтовых массивов. Факторы, определяющие устойчивость откоса. Причины разрушения откосов.
3. Методы расчета устойчивости откоса. Устойчивость откоса идеально сыпучего грунта.
4. Методы расчета устойчивости откоса. Устойчивость откоса идеально связного массива грунта.
5. Метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения при расчете устойчивости откоса.
6. Преобразовательные процессы в земной коре (выветривание, дефляция, суффозия).
7. Понятие и виды оползней. Механизмы развития оползневых процессов.
8. Классификация оползней. Виды деформации и типы нарушения откосов (обрушение, сползание, оползень, оползень с выпором, оплывание).
9. Прогнозирование развития оврагов.
10. Плоскостной смыв: понятие, механизм развития. Факторы развития плоскостного смыва.
11. Основные элементы оврагов. Принципы применения противооползневых мероприятий.
12. Основные требования при проектировании противооползневых сооружений и мероприятий.
13. Противооползневые мероприятия: подпорные сваи, контрфорс, анкерные системы.
14. Противооползневые мероприятия: выполаживание откосов и ливневая канализация.
15. Габионные конструкции: понятие, область применения, достоинства конструкций.
16. Геотекстиль и геоматы в укреплении откосов.
17. Дренажи как противооползневые мероприятия. Понятие, виды и основные элементы дренажей.
18. Георешетки для укрепления откосов.
19. Понятие и виды эрозионных нарушений почв.
20. Противоэрозионные мероприятия при размещении линейных трубопроводов.
21. Использование методов озеленения для укрепления откосов при оползнях и эрозии.

Учебное издание

Составители
Дружакина Ольга Павловна
Гаврилова Ксения Владимировна

УСТОЙЧИВОСТЬ ГРУНТОВЫХ МАССИВОВ

Учебно-методическое пособие

Напечатано в авторской редакции с оригинал-макета заказчика

Подписано в печать 28.08.12. Формат 60х84 1\16
Печать офсетная. Усл.печ.л _____. Уч.-изд.л. _____.
Тираж 50 экз. Заказ № 1487

Издательство «Удмуртский университет»
426034, г. Ижевск, ул. Университетская, 1, корп. 4.